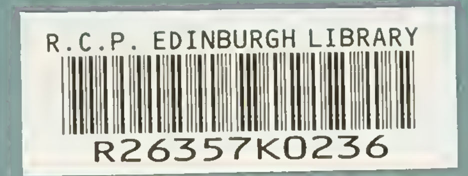

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE
N. ROOD
THÉORIE SCIENTIFIQUE
DES
COULEURS


R.C.P. EDINBURGH LIBRARY
R26357K0236



BIBLIOTHÈQUE

SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. ÉM. ALGLAVE

XXXVIII

BIBLIOTHÈQUE
SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Volumes in-8, reliés en toile anglaise, 6 fr. — En demi-reliure d'amateur, 10 fr.

La *Bibliothèque scientifique internationale* n'est pas une entreprise de librairie ordinaire. C'est une œuvre dirigée par les auteurs mêmes, en vue des intérêts de la science, pour la populariser sous toutes ses formes, et faire connaître immédiatement dans le monde entier les idées originales, les directions nouvelles, les découvertes importantes qui se font chaque jour dans tous les pays. Chaque savant expose les idées qu'il a introduites dans la science et condense pour ainsi dire ses doctrines les plus originales. On peut ainsi, sans quitter la France, assister et participer au mouvement des esprits en Angleterre, en Allemagne, en Amérique, en Italie, etc., tout aussi bien que les savants mêmes de chacun de ces pays.

La *Bibliothèque scientifique internationale* ne comprend pas seulement des ouvrages consacrés aux sciences physiques et naturelles, elle aborde aussi les sciences morales, comme la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie sociale, la haute législation, etc.; mais les livres traitant des sujets de ce genre se rattachent encore aux sciences naturelles, en leur empruntant les méthodes d'observation et d'expérience qui les ont rendues si fécondes depuis deux siècles.

---

81 VOLUMES PUBLIÉS

J. Tyndall. Les glaciers et les transformations de l'eau, suivis d'une étude de M. *Helmholtz* sur le même sujet, avec 8 planches tirées à part et nombreuses figures dans le texte. 6e édition. . . 6 fr.

Bagehot. Lois scientifiques du développement des nations. 5e édit. 6 fr.

J. Marey. La machine animale, locomotion terrestre et aérienne, avec 117 figures dans le texte. 5e édition augmentée. . . . . 6 fr.

A. Bain. L'esprit et le corps considérés au point de vue de leurs relations, avec figures. 5e édition . . . . 6 fr.

Pettigrew. La locomotion chez les animaux, avec 130 fig. 2e édit. 6 fr.

Herbert Spencer. Introduction à la science sociale. 11e édit. 6 fr.

O. Schmidt. Descendance et darwinisme, avec fig. 6e édit. . . 6 fr.

H. Maudsley. Le crime et la folie. 6e édition. . . . . 6 fr.

P.-J. Van Beneden. Les commensaux et les parasites dans le règne animal, avec 83 figures dans le texte. 3e édition. . . . . . . 6 fr.

Balfour Stewart. La conservation de l'énergie, suivie d'une étude sur La nature de la force, par *P. de Saint-Robert.* 5e édition. 6 fr.

Draper. Les conflits de la science et de la religion. 8e édition. 6 fr.

Léon Dumont. Théorie scientifique de la sensibilité. 4e édit. 6 fr.

Schützenberger. Les fermentations, avec 28 figures. 5e édition. 6 fr.

Whitney. La vie du langage. 3e édition. . . . . 6 fr.

Cooke et Berkeley. Les champignons, avec 110 figures. 4e édit. 6 fr.

Bernstein. Les sens, avec 91 figures dans le texte. 4e édition. . 6 fr.

Berthelot. La synthèse chimique. 6e édition . . . . 6 fr.

Luys. Le cerveau et ses fonctions, avec figures. 6e édition. . . 6 fr.

W. Stanley Jevons. La monnaie et le mécanisme de l'échange. 5e édition. . . . . 6 fr.

Fuchs. Les volcans et les tremblements de terre, avec 36 figures dans le texte et une carte en couleurs. 4e édition. . . . . 6 fr.

Général Brialmont. La défense des Etats et les camps retranchés, avec nombreuses figures et deux planches hors texte. 3e édit. 6 fr.

A. de Quatrefages. L'espèce humaine. 11e édition . . . . . . 6 fr.

Blaserna et Helmholtz. Le son et la musique, avec 50 figures dans le texte. 4e édition . . . . 6 fr.

Rosenthal. Les muscles et les nerfs, avec 75 fig. 3e édit. . . . 6 fr.

Brucke et Helmholtz. Principes scientifiques des beaux-arts, suivis de L'optique et la peinture, avec 39 figures. 3e édition. . . . 6 fr.

Wurtz. La théorie atomique, avec une planche. 7e édit. . . . 6 fr.

Secchi. Les étoiles. 2 vol., avec 60 figures dans le texte et 17 planches en noir et en couleurs, tirées hors texte. 2e édition. . . . . 12 fr.

N. Joly. L'homme avant les métaux. Avec 150 figures. 4e édition. 6 fr.

A. Bain. La science de l'éducation. 7e édition. . . . . 6 fr.

Thurston. Histoire de la machine a vapeur, revue, annotée et augmentée d'une Introduction par *J. Hirsch*, avec 140 figures dans le texte, 16 planches tirées à part et nombreux culs-de-lampe. 3e édition. 2 vol.. . . . . 12 fr.

R. Hartmann. Les peuples de l'Afrique, avec 91 figures et une carte des races africaines. 2e édition . . . . 6 fr.

Herbert Spencer. Les bases de la morale évolutionniste. 5e édition. . . . . 6 fr.

Th.-H. Huxley. L'écrevisse, introduction à l'étude de la zoologie, avec 82 figures. 2e édition. . . . . 6 fr.

De Roberty. La sociologie. 1 vol in-8. 3e édition. . . . . . 6 fr.

O.-N. Rood. Théorie scientifique des couleurs et leurs applications à l'art et à l'industrie, avec 130 figures dans le texte et une planche en couleurs . . . . 6 fr.

G. de Saporta et Marion. L'évolution du règne végétal. *Les cryptogames*, avec 85 figures dans le texte . . . . 6 fr.

Charlton Bastian. Le cerveau, organe de la pensée chez l'homme et chez les animaux, 2 vol., avec 184 fig. dans le texte. 2e édition. 12 fr.

James Sully. Les illusions des sens et de l'esprit. 2e édition. 6 fr.

Alph. de Candolle. L'origine des plantes cultivées. 3e édition. 6 fr.

Young. Le soleil, avec 86 figures. . . . . 6 fr.

J. Lubbock. Les fourmis, les abeilles et les guêpes, 2 vol., avec 65 fig. dans le texte et 13 planches hors texte, dont 5 en couleurs . 12 fr.

Ed. Perrier. La philosophie zoologique avant Darwin. 2e éd. . . 6 fr.

Stallo. La matière et la physique moderne. 2e édition. . . . . 6 fr.

Mantegazza. La physionomie et l'expression des sentiments, avec 8 planches hors texte. 2e édition. . . . . 6 fr.

De Meyer. Les organes de la parole, avec 51 figures. . . . 6 fr.

De Lanessan. Introduction a la botanique. Le sapin, avec fig. 2e éd. 6 fr.

G. de Saporta et Marion. L'évolution du règne végétal. *Les phanérogames*. 2 vol., avec 136 figures. . . . . 12 fr.

E. Trouessart. Les microbes, les ferments et les moisissures, avec 107 fig. dans le texte. 2e édition. . . . . 6 fr.

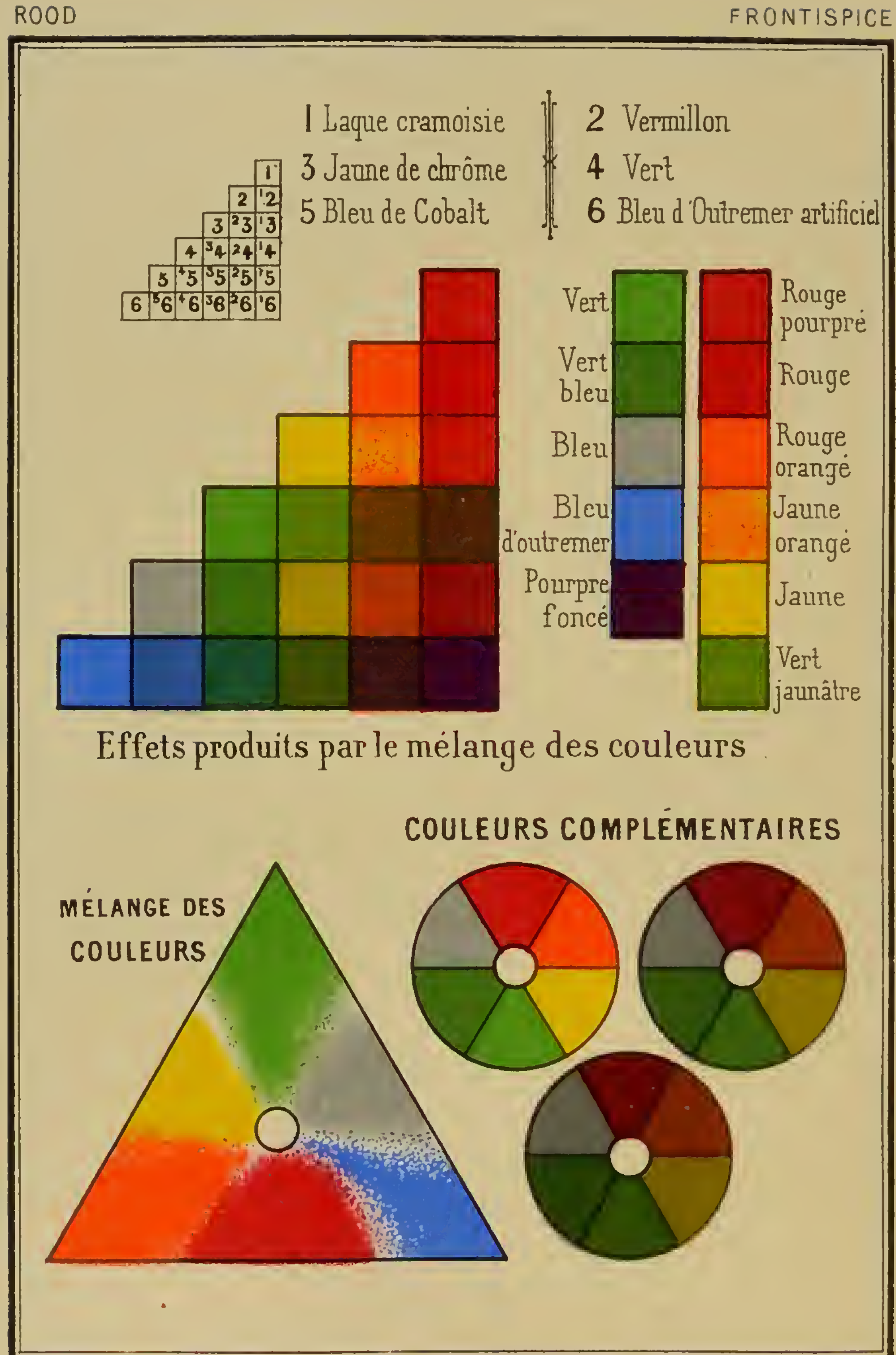
R. Hartmann. Les singes anthropoïdes, et leur organisation comparée à celle de l'homme, avec 63 fig. dans le texte. . . . . 6 fr.

O. Schmidt. Les mammifères dans leurs rapports avec leurs ancêtres géologiques, avec 51 fig. dans le texte. . . . . 6 fr.
Binet et Féré. Le magnétisme animal, avec figures dans le texte. 4[e] édition. . . . . 6 fr.
Romanes. L'intelligence des animaux. 2 vol. 2[e] édition. . . 12 fr.
C. Dreyfus. L'évolution des mondes et des sociétés. 2[e] édition. 6 fr.
F. Lagrange. Physiologie des exercices du corps. 6[e] édition. 6 fr.
Daubrée. Les régions invisibles du globe et des espaces célestes, avec 78 figures dans le texte. 2[e] édition. . . . . 6 fr.
Sir J. Lubbock. L'homme préhistorique. 2 vol., avec 228 fig., dans le texte, 3[e] édition . . . . 12 fr.
Ch. Richet. La chaleur animale, avec graphiques dans le texte. 6 fr.
Falsan. La période glaciaire, étudiée principalement en France et en Suisse, avec 105 fig. dans le texte et 2 cartes. . . . . 6 fr.
H. Beaunis. Les sensations internes. . . . . 6 fr.
Cartailhac. La France préhistorique, d'après les sépultures et les monuments, avec 162 figures. . . . . 6 fr.
Berthelot. La révolution chimique, Lavoisier . . . . 6 fr.
Sir J. Lubbock. Les sens, l'instinct et l'intelligence des animaux, principalement chez les inecstes, avec fig. dans le texte. . . 6 fr.
Starcke. La famille primitive. . . . . 6 fr.
Arloing. Les virus, avec fig. dans le texte . . . . 6 fr.
Topinard. L'homme dans la nature, avec figures. . . . . . 6 fr.
De Quatrefages. Darwin et ses précurseurs français. 2[e] édition. 6 fr.
A. Binet. Les altérations de la personnalité, avec figures. . . 6 fr.
A. Lefèvre. Les races et les langues. . . . . 6 fr.
De Quatrefages. Les émules de Darwin, avec préfaces de MM. *E. Perrier* et *Hamy*. 2 vol. . . . . 12 fr.
Brunache. Le centre de l'Afrique autour du Tchad, avec 41 fig. et 1 carte. . . . . 6 fr.
A. Angot. Les aurores polaires, avec figures. . . . . 6 fr.
Jaccard. Le pétrole, l'asphalte et le bitume, avec figures. . 6 fr.
Stanislas Meunier. La géologie comparée, avec figures. . . 6 fr.

VOLUMES SUR LE POINT DE PARAITRE :

Dumesnil. L'hygiène de la maison, avec figures.
Niewenglowski. La photographie, avec figures.
Cornil et Vidal. La microbiologie, avec figures.
Roché. La culture des mers, avec figures.
Kunckel d'Herculais. Les sauterelles, avec figures.
Cartailhac. Les Gaulois, avec figures.
Guignet. Poteries et émaux.
Ch. André. Le système solaire.
De Mortillet. L'origine de l'homme, avec figures.
Ed. Perrier. L'embryogénie générale, avec figures.
Bertillon. La démographie.

Coulommiers. — Imp. Paul BRODARD. — 214-95.



LE MÉLANGE DES COULEURS

THÉORIE SCIENTIFIQUE
DES COULEURS

ET LEURS APPLICATIONS

A L'ART ET A L'INDUSTRIE

PAR

O. N. ROOD

Professeur de physique à Columbia-College de New-York.

Avec 130 figures dans le texte et une planche en couleurs.



DEUXIÈME ÉDITION

PARIS
ANCIENNE LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C[ie]
FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN 108

1895

PRÉFACE DE L'AUTEUR

Les préfaces ne sont en général ni instructives ni amusantes ; aussi n'avions-nous pas l'intention d'en donner une à ce livre. Mais, lorsque nous avons remis le manuscrit à nos éditeurs, ils nous ont représenté que, bien que les préfaces ne soient pas précisément utiles aux lecteurs, elles ont cependant leur bon côté.

Nous demandons en conséquence la permission de déclarer ici que le but de cet ouvrage est de présenter sous une forme claire, logique, et attrayante s'il se peut, les faits fondamentaux qui se rapportent à la perception des couleurs, dans la mesure de nos connaissances actuelles et de l'intérêt que ces faits peuvent avoir pour les peintres et pour les gens du monde. Dans l'explication de ces faits, nous avons suivi la théorie de Thomas Young, modifiée et développée par MM. Helmholtz et Maxwell. Quant aux théories musicales et à celle de Field, nous les avons rejetées, pour les motifs que nous exposons dans le cours de ce travail.

Passant maintenant du côté plus purement scientifique au côté esthétique de notre sujet, nous ajouterons que nous nous sommes efforcé aussi de présenter d'une manière simple et intelligible les faits essentiels dont dépend nécessairement l'emploi artistique des couleurs. La connaissance de ces faits ne pourra pas, bien entendu, transformer le premier venu en artiste ; mais elle pourra jusqu'à un certain point empêcher des gens du monde, des critiques, et même

des peintres, de parler et d'écrire sur la couleur d'une manière vague, inexacte et quelquefois irrationnelle. Nous irons plus loin encore, et nous dirons que la connaissance réelle des faits élémentaires sert souvent à signaler aux débutants l'existence de difficultés qui sont presque insurmontables, ou peut encore, lorsqu'ils sont embarrassés, leur révéler la nature probable de l'obstacle qui les arrête ; en un mot, une certaine instruction élémentaire épargne aux travailleurs les efforts inutiles. Aussi engageons-nous tous ceux que ce sujet intéresse réellement à répéter pour eux-mêmes les différentes expériences indiquées dans ce livre.

Tout en avançant vers le but que nous nous étions proposé, nous avons plus d'une fois reconnu que des lacunes importantes restaient à combler, et pour cela il nous a fallu faire bien des expériences et des recherches nouvelles. Nous avons dû nous contenter d'en indiquer rapidement les résultats dans ce volume; quant aux moyens exacts dont nous nous sommes servi pour y arriver, nous les exposerons prochainement dans un journal scientifique.

Il nous sera peut-être permis d'ajouter ici que depuis vingt ans nous vivons dans l'intimité de plusieurs peintres distingués, et que nous avons nous-même pendant ce temps consacré une part considérable de nos loisirs à l'étude pratique du dessin et de la peinture.

O. N. R.

LA SCIENCE DES COULEURS

CHAPITRE PREMIER

RÉFLEXION ET TRANSMISSION DE LA LUMIÈRE

En 1795, très peu de temps après la découverte du courant voltaïque, Pfaff, physicien allemand, eut l'idée de soumettre le nerf optique à l'action de ce courant. Il obtint un résultat curieux : au lieu de causer de la douleur, comme on aurait peut-être pu s'y attendre, l'électricité détermina chez le sujet soumis à l'expérience la sensation d'un brillant éclair. Cette expérience a depuis été répétée de bien des manières différentes et avec les piles plus énergiques inventées de nos jours, et non seulement elle a donné le résultat d'abord obtenu par Pfaff, mais encore elle a permis à plusieurs physiciens éminents de distinguer nettement plusieurs couleurs, — le rouge, le vert, le violet, et d'autres teintes encore. Si au courant électrique on substitue une action mécanique, c'est-à-dire si l'on exerce une pression sur l'œil, le nerf optique se trouve encore stimulé, et une série de figures brillantes, changeantes et fantastiques semblent passer devant l'expérimentateur. Toutes ces apparences sont nettement visibles dans une chambre où règne une obscurité complète, et prouvent que le sens de la vision peut être excité sans l'intervention de la lumière, et que le point essentiel est uniquement la stimulation du nerf optique. Toutefois, dans la grande majorité des cas, la stimulation du nerf optique s'obtient, d'une manière directe ou indirecte, à l'aide de la lumière ; et, dans cet ouvrage, c'est surtout la vision produite par cette méthode normale qui doit nous occuper.

La paroi postérieure de l'œil est tapissée d'un tissu délicat et très compliqué, composé d'un réseau de petits vaisseaux sanguins et de

nerfs d'une ténuité extrême, parsemé d'une multitude d'atomes minuscules, qui, au microscope, présentent l'aspect de petites baguettes et de petits cônes. C'est la rétine, dont le tissu merveilleux jouit de la propriété mystérieuse d'être impressionné par la lumière, et dont la substance transmet au cerveau les signaux nerveux qui déterminent en nous la sensation de la vision. Pour abréger, on dit ordinairement que la surface sphérique intérieure présentée par la rétine est le siège de la vision. Un œil qui n'aurait *que la rétine* possèderait encore un certain genre de vision : plongé dans un rayon de lumière rouge ou verte, par exemple, il éprouverait la sensation de ces couleurs, et donnerait une certaine idée de l'intensité ou de la pureté des teintes. Certains animaux inférieurs semblent n'être doués que de ce genre de vision rudimentaire; ainsi M. Bert a récemment constaté que l'œil des crustacés minuscules est sensible aux mêmes couleurs du spectre que celui de l'homme, et que dans les deux cas le maximum d'effet est produit par les rayons jaunes. Mais un œil ainsi réduit à sa plus simple expression ne permettrait pas de distinguer les formes des objets extérieurs, ni même, dans les cas ordinaires, leurs couleurs. L'œil contient donc une série de lentilles disposées en avant de la rétine, et combinées de façon à y faire tomber des images tout à fait délicates et parfaites des objets vers lesquels l'œil est dirigé; les couleurs et les ombres de ces images correspondent exactement aux objets qui les ont déterminées, et c'est par leur action sur la rétine que nous voyons. Ces images rétiniennes sont, pour ainsi dire, des mosaïques composées d'un nombre infini de points lumineux; elles disparaissent avec les objets qui les ont fait naître, bien que, comme nous le verrons, leurs effets persistent quelques instants après qu'elles ont elles-mêmes disparu.

Ceci nous amène à nous poser cette question : « Qu'est-ce donc que la lumière, cet agent dont la propriété est de produire des effets qui sembleront toujours merveilleux à tout homme qui réfléchit? » Pour répondre d'une manière parfaitement exacte à cette question, nous dirons que la lumière est quelque chose qui nous vient du corps lumineux; dans l'acte visuel, nous sommes essentiellement passifs, et nous n'agissons pas, comme le croyaient les anciens, en projetant dans la direction des objets de longs tentacules d'une délicatesse extrême. Ce quelque chose était considéré par Newton comme composé d'atomes tellement petits qu'ils échappaient presque à la pensée elle-même, mais animés d'une vitesse de près de 300 000

kilomètres par seconde. Dans le système des ondes, au contraire, la lumière se compose, non de molécules matérielles lancées vers nous, mais d'ondes qui viennent frapper nos yeux à peu près de la même manière que les ondulations de la mer viennent battre sur les rochers du rivage.

Dans cette hypothèse, les atomes dont se compose la flamme d'une bougie sont eux-mêmes dans un état de vibration, et communiquent leur mouvement vibratoire aux autres molécules avec lesquelles ils se trouvent en contact : ainsi ils engendrent des ondes qui se propagent dans toutes les directions, comme le font les ondes circulaires que produit la chute d'une pierre dans une eau tranquille ; ces ondes finissent par se briser sur la surface de la rétine, où, par un procédé qui n'a pas encore été expliqué, elles déterminent la sensation de la lumière. Alors nous voyons la flamme de la bougie. Les corps qui ne sont pas lumineux par eux-mêmes ne peuvent être vus directement ou sans secours ; pour qu'on les aperçoive, la présence d'un corps lumineux par lui-même est indispensable. La flamme de la bougie lance un flot d'ondes lumineuses sur les corps qui sont dans la même chambre ; quelques-unes des ondes s'anéantissent en venant frapper ces corps, mais d'autres rebondissent et arrivent à l'œil de l'observateur, après avoir subi certaines modifications sur lesquelles nous aurons occasion de revenir.

Ce rebondissement de l'onde lumineuse a reçu le nom de réflexion ; tous les corps qui sont dans une chambre réfléchissent une certaine proportion de la lumière d'une bougie. Les substances polies changent la direction des ondes lumineuses qui viennent tomber à leur surface, mais n'en dispersent irrégulièrement ou dans toutes les directions qu'une proportion fort minime. Il en résulte que les surfaces polies, lorsqu'elles réfléchissent la lumière, ne présentent pas du tout la même apparence que les surfaces qui, bien qu'unies, sont cependant mates : les premières peuvent réfléchir tantôt beaucoup tantôt peu de lumière, selon leur position, tandis que les surfaces mates sont loin de le faire au même degré. Les variations du pouvoir réflecteur des différents corps, lorsque les circonstances varient, ne sont pas sans intérêt pour nous ; nous verrons dans la suite que la nature en profite souvent pour modifier les couleurs.

En général, les surfaces métalliques polies sont les meilleurs réflecteurs de la lumière ; l'artiste peut presque toujours les considérer comme réfléchissant toute la lumière qu'elles reçoivent. L'argent

poli réfléchit réellement 92 pour 100 de la lumière qui tombe perpendiculairement à sa surface ; et, bien que les proportions réfléchies par l'acier et les autres métaux soient moins considérables, cependant il faut presque toujours un œil exercé pour saisir facilement la différence.

Il n'en est pas tout à fait de même de la surface de l'eau tranquille : si elle reçoit un rayon lumineux faisant un petit angle avec la surface, la proportion réfléchie est aussi considérable qu'avec une surface métallique; au contraire, si le rayon arrive perpendiculairement à la surface, la quantité réfléchie est de moins de 4 pour 100. Ainsi quand le ciel est pur et bleu, si nous regardons une nappe d'eau tranquille. les parties éloignées nous semblent très brillantes, tandis que celles qui sont à nos pieds paraissent d'un bleu très intense. Dans ce cas particulier, la différence entre l'éclat des parties voisines et celui des parties éloignées se trouve encore accrue par le fait que le ciel est moins lumineux au zénith que près de l'horizon ; or les parties éloignées de la nappe d'eau réfléchissent la lumière qui vient de l'horizon, tandis que les parties voisines réfléchissent celle qui vient du zénith. Les peintres tirent très souvent parti du pouvoir réflecteur de l'eau comme d'un excellent moyen de doubler les effets chromatiques dans un tableau, puisqu'il leur fournit sans peine, par une légère agitation de la surface, l'occasion de varier l'effet primitif.

Il est bon de faire observer ici que, dans les paysages réels où se trouvent des nappes d'eau tranquille, le plus ordinairement les images réfléchies ne sont pas absolument identiques à celles que nous voyons directement; la différence peut même souvent être considérable. De même il peut arriver qu'un objet situé de l'autre côté et à une certaine distance de l'eau ne se voie pas du tout dans l'image réfléchie. soit que la lumière partie de cet objet n'atteigne pas l'eau, soit qu'elle l'atteigne sans être renvoyée à l'œil de l'observateur.

Comme nous l'avons vu, les surfaces polies non seulement réfléchissent une grande quantité de lumière, mais encore groupent les rayons lumineux en masses bien nettes; il n'en est pas de même des surfaces mates, lesquelles dispersent dans toutes les directions la lumière qu'elles reçoivent. Dans ce cas, quelque position qu'il occupe, l'œil reçoit une partie de cette lumière, et un changement de place produit bien moins d'effet sur la quantité de lumière reçue d'une surface mate que s'il s'agit de lumière réfléchie par une surface

polie. Mais cette propriété de disperser la lumière dans toutes les directions fait que les surfaces rugueuses, quelle que soit leur situation, n'envoient jamais à l'œil une lumière très intense.

Si une toile blanche est éclairée par une douzaine de sources lumineuses différentes, elle réfléchira à l'œil un échantillon de chaque espèce de lumière, et ce que nous appelons sa nuance se composera d'autant d'éléments. Si nous songeons que tous les objets différents qui sont dans la même chambre réfléchissent de la lumière, et ordinairement une lumière colorée, nous verrons que la nuance définitive de la toile en question dépend non seulement de ce que sa couleur naturelle est blanche, mais encore de la présence et de la proximité de rideaux, de livres, de sièges et d'un grand nombre d'autres objets; la couleur définitive ne sera donc pas exactement blanche, mais bien une nuance délicate et indescriptible qu'un peintre habile peut seul reproduire. Quand il s'agit d'objets naturellement colorés, ou qui le paraissent lorsqu'on les expose à la lumière blanche, la difficulté devient encore plus grande. Supposons que notre toile, exposée à la lumière blanche pure, semble rouge; sa teinte sera toujours modifiée par la lumière qu'elle recevra des objets environnants; par exemple, si elle reçoit de la lumière verte d'objets de cette couleur qui se trouvent dans son voisinage, le rouge tirera sur l'orangé; si la lumière ajoutée est jaune, la tendance vers l'orangé deviendra plus marquée encore; au contraire, la lumière provenant de surfaces bleues ou violettes fera passer le rouge au cramoisi ou même au pourpre. Les exemples les plus magnifiques de ces changements sont ceux que nous présentent les objets éclairés à la fois par les rayons jaunes du soleil et la lumière bleue d'un ciel pur: cette cause suffit pour modifier d'une manière merveilleuse les couleurs naturelles des objets, et produire des effets magiques dont la complexité se dérobe presque à l'analyse. Nous examinerons plus loin la nature de ces changements, quand nous aurons étudié les principes dont ils dépendent.

Enfin, il n'est peut-être pas tout à fait hors de propos d'ajouter ici que la plupart des peintures et des ornements en couleur sont vus à l'aide de la lumière qu'ils *réfléchissent* d'une manière diffuse à l'œil de l'observateur; au contraire, les transparents, les peintures sur verre ou les vitraux colorés sont vus à l'aide de la lumière qui

traverse leur substance avant d'arriver aux yeux. De même nous voyons que la très grande majorité des objets naturels agissent sur nos organes visuels au moyen de la lumière réfléchie, et qu'un très petit nombre seulement sont vus par l'intermédiaire d'un mélange de lumière réfléchie et de lumière transmise. Il s'ensuit que la nature et le peintre emploient réellement, en définitive, juste les mêmes moyens pour agir sur l'œil du spectateur. Si nous signalons cette vérité, si banale en apparence, c'est que bien des personnes semblent croire que la nature peint toujours avec de la lumière, tandis que le peintre est réduit à se servir de couleurs : au fond, l'un et l'autre peignent avec de la lumière, bien que, comme nous le verrons dans la suite, la quantité totale des couleurs dont dispose le peintre soit absolument limitée.

En terminant ce que nous voulions dire ici sur la réflexion, il nous sera peut-être permis d'ajouter que bien des personnes confondent la réflexion et l'ombre ; elles disent, par exemple, « l'ombre des arbres sur l'eau », quand elles veulent parler de l'image que les arbres situés sur le bord d'une eau tranquille y produisent par réflexion. Les deux phénomènes sont, au fond, essentiellement différents, et une ombre véritable et bien définie se produit rarement sur l'eau, à moins que celle-ci ne soit trouble.

Nous avons vu que tous les corps réfléchissent une partie de la lumière qui tombe à leur surface ; il est également vrai qu'ils en transmettent une certaine portion. Une plaque de verre très pur, ou une couche d'eau assez mince, transmet toute la lumière qu'elle reçoit, sauf celle qui est réfléchie ; toutes deux la transmettent sans en altérer la teinte, et nous disons que ce sont des substances parfaitement transparentes et incolores. C'est là un des extrêmes ; l'autre nous est fourni par un des métaux, l'or ou l'argent, par exemple : pour transmettre un peu de lumière, il faut qu'ils soient réduits en feuilles très minces. Une feuille d'or laisse passer une petite quantité de lumière, et lui donne une teinte vert bleuâtre. Presque tous les autres corps peuvent être rangés entre ces deux extrêmes ; aucun ne peut être considéré comme parfaitement transparent, et aucun n'est parfaitement opaque. Et ceci est vrai non seulement dans un sens rigoureusement scientifique, mais encore dans un sens qui touche spécialement à notre sujet. La grande majorité des objets avec lesquels nous nous trouvons sans cesse en contact permettent à la lumière de pénétrer un peu au delà de leur surface, puis, la ren-

voyant, la lancent au dehors dans toutes les directions. Dans ce sens, l'on peut dire que tous les corps ont un certain degré de transparence. La lumière qui pénètre ainsi au delà de la surface des corps subit une certaine modification : ordinairement elle ne ressort que plus ou moins colorée. Il en résulte que, dans la plupart des cas, deux masses de lumière viennent frapper l'œil : l'une, qui s'est réfléchie à la surface, n'a pas changé de couleur; l'autre, qui n'est réfléchie qu'après avoir pénétré dans le corps, a subi une modification de teinte. Bien des effets remarquables de translucidité sont dus à ces causes et à d'autres absolument analogues; les jeux de couleur de la surface des vagues dépendent surtout de ces deux éléments, que nous retrouvons encore, mais à un degré moindre, dans la translucidité moins marquée du feuillage ou de la chair.

La première de ces ressources n'est d'aucune utilité au peintre : au contraire, il fait tous ses efforts pour empêcher la lumière réfléchie d'une manière plus ou moins *régulière* par la surface extrême de son tableau, d'arriver jusqu'à l'œil du spectateur, si ce n'est en très faible quantité, et ne se sert jamais que de la lumière qui est réfléchie d'une manière irrégulière et diffuse, et qui a, en général, d'abord pénétré à une faible profondeur dans ses couleurs.

C'est le principe de la transmission directe de la lumière qui sert au peintre en vitraux et au peintre sur verre pour faire voir leurs tableaux. Or, comme le verre peint ou le verre coloré transmet énormément plus de lumière que les couleurs n'en réfléchissent dans une chambre convenablement éclairée, il s'ensuit que l'artiste qui se sert du verre dispose d'une gamme de lumière et d'ombre beaucoup plus étendue que celle du peintre à l'huile ou de l'aquarelliste. Aussi est-il possible de produire sur verre des tableaux qui, sous le rapport de la lumière, rivalisent presque avec la nature. La vivacité et la pureté des teintes que l'on peut ainsi obtenir par transmission directe, sont bien au-dessus de ce que peut donner la réflexion, et permettent au peintre sur verre de se servir avec succès de combinaisons de couleurs qui, privées de leur éclat et de leur vivacité par l'emploi de l'huile ou de la fresque, ne donneraient plus que de très mauvais résultats.

CHAPITRE II

PRODUCTION DE LA COULEUR PAR LA DISPERSION

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la sensation de la vue est produite par l'action d'ondes infiniment petites sur la substance nerveuse de la rétine, c'est-à-dire à l'aide de mouvements purement mécaniques d'un caractère bien défini. Lorsque ces ondes ont une longueur d'environ $\frac{1}{1535}$ de millimètre, elles produisent la sensation à laquelle nous donnons le nom de rouge : nous voyons une lumière rouge ; si elles sont réduites à environ $\frac{1}{1614}$ de millimètre, elles déterminent en nous une sensation différente : nous disons que la lumière a une teinte orangée ; enfin, à mesure que les longueurs des ondes diminuent, la sensation devient successivement celle du jaune, du vert, du bleu et du violet. Evidemment alors, les couleurs n'ont aucune existence par elles-mêmes et en dehors de nous ; du moins, en dehors de nous ce ne sont que de purs mouvements mécaniques, et il n'est pas difficile de nous imaginer des êtres constitués de telle sorte que les ondes lumineuses ne puissent produire sur eux la sensation de couleur, mais bien celle de chaleur.

Les sensations de couleur que nous venons de nommer ne sont pas les seules que puisse produire la diminution graduelle de la longueur des ondes lumineuses : entre le rouge et l'orangé. nous trouvons tous les degrés du rouge orangé et de l'orangé rouge ; de même, l'orangé se transforme en jaune par mille gradations insensibles, et ainsi de suite pour toutes les autres teintes. On pourrait produire par cette méthode des types de toutes les couleurs possibles, sauf le pourpre. Non seulement les couleurs ainsi obtenues se transformeraient les unes en les autres en passant par les gradations les plus impercep-

tibles, et formeraient une longue série de teintes graduées, mais encore elles auraient une pureté parfaite et, si la lumière était vive, une très grande intensité. Il n'est pas besoin d'insister sur l'avantage qu'il y a à trouver ainsi, dès le début de l'étude des couleurs, une série de teintes présentant ces précieuses qualités.

Or, la lumière blanche se compose d'un mélange d'ondes qui ont toutes les longueurs possibles ; la seule chose dont nous ayons besoin, c'est un instrument qui puisse trier pour nous les différentes espèces de lumière, et les disposer côte à côte en série bien ordonnée. Heureusement, nous trouvons dans le prisme de verre un appareil simple et peu coûteux pour faire l'analyse que nous désirons. Nous pouvons, si nous voulons nous donner un peu de peine, arranger les choses

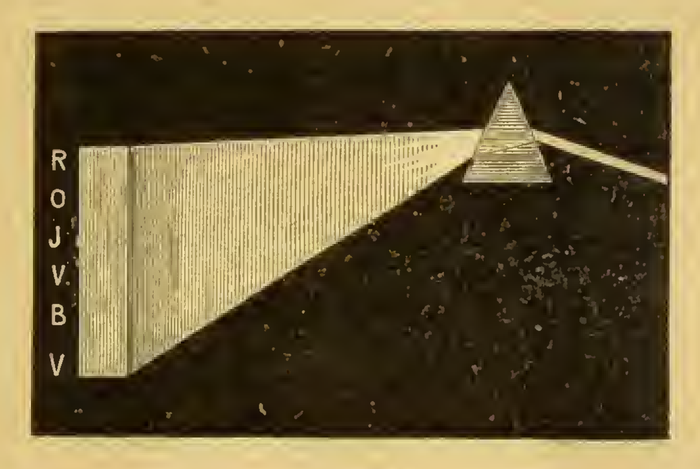


Fig. 1. — Spectre donné par le prisme.

de manière à répéter la fameuse expérience faite, il y a bien des années, par Newton : il suffit pour cela de laisser entrer un petit rayon de lumière solaire dans une chambre rendue complètement obscure, et de le faire tomber sur le prisme, comme l'indique la figure 1. Il suffit de regarder la trace lumineuse du rayon solaire pour reconnaître que le prisme lui fait subir une déviation considérable ; et, en suivant le rayon dévié, nous verrons qu'au lieu de rester blanc il s'est transformé en une longue bande de couleurs d'une pureté et d'une beauté extrêmes, qui se fondent les unes dans les autres par des gradations insensibles. Si nous recevons cette bande de lumière colorée sur un mur blanc, ou, mieux encore, sur une grande feuille de carte blanche, voici ce que nous pourrons constater sur le passage d'une couleur à l'autre : la bande lumineuse commence

à une extrémité par une teinte cramoisi foncé, qui devient de plus en plus vive en suivant le sens de sa longueur et se change peu à peu en écarlate ; celui-ci passe à l'orangé, qui à son tour devient plus jaunâtre, et arrive à se transformer en vert jaunâtre sans passer sensiblement par le jaune, de sorte qu'au premier abord cette dernière couleur ne semble pas se trouver au milieu des autres. Les espaces jaune orangé et jaune verdâtre sont plus brillants que tous les autres; mais l'accroissement de vivacité est si bien gradué que la différence devient frappante seulement lorsqu'on compare ces deux couleurs avec celles qui s'en trouvent à une distance considérable. A mesure que nous avançons, la tendance vers le vert devient plus marquée, et enfin nous arrivons au vert bien net. Cette couleur aussi est assez vive, et

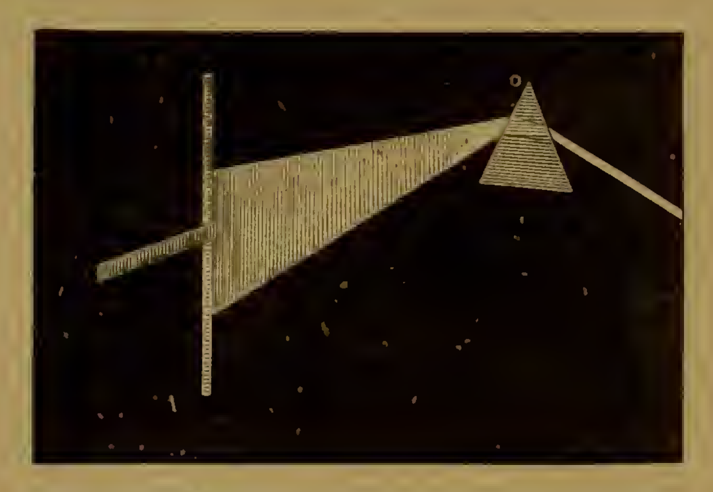


Fig. 2. — Moyen d'isoler une des couleurs du spectre.

son intensité est aussi grande que celle du rouge; peu à peu elle se change en bleu verdâtre, qui n'attire pas l'attention au premier abord; ensuite vient le bleu bien net, dont la vivacité et l'éclat sont inférieurs à ceux du vert; ce bleu se change lentement en un violet peu éclatant, qui clôt la série. Si nous voulons isoler ces couleurs et les examiner séparément, nous pouvons encore suivre l'exemple de Newton, en faisant une petite ouverture étroite dans notre carte, qui servira alors d'écran pour arrêter toutes les couleurs, sauf celle qu'il s'agit d'étudier ; c'est ce que montre la figure 2. Ceci nous permet d'examiner avec plus d'indépendance des parties séparées de notre spectre, et de nous soustraire à l'influence écrasante de quelques-unes des couleurs les plus intenses. Ainsi isolé, le bleu verdâtre devient bien net, et le bleu ressort mieux aussi ; mais le jaune n'y gagne pas

grand'chose, parce qu'il n'occupe en réalité qu'une région très étroite, de sorte qu'il faut beaucoup agrandir le spectre pour obtenir la démonstration certaine de l'existence de cette dernière couleur.

Bien que d'un très bel effet, ces expériences sont en réalité fort grossières : toutes les deux minutes, le rayon de soleil s'écarte du prisme, et il faut l'y ramener sans cesse ; en outre, les couleurs se fondent entre elles d'une manière si subtile et si embarrassante que toute expérience exacte semble impossible sans une échelle ou quelque point de repère qui permette de les séparer. C'est au spectroscope qu'il faut avoir recours pour sortir d'embarras; sans doute, dans l'origine, il n'a pas été destiné à cet usage, mais néanmoins c'est justement ce qu'il nous faut. Nous ne nous arrêterons pas ici à décrire cet instrument, comme l'a si bien fait M. Lommel dans un ouvrage fort connu ; il nous suffit de dire que c'est un instrument commode pour trier, d'après leurs longueurs d'onde, les différentes espèces de lumière qu'il reçoit; ajoutons qu'il s'acquitte de cette tâche avec bien plus d'exactitude que ne le fait le prisme employé d'après la méthode de Newton. Et ici nous pouvons profiter d'une découverte singulière faite par Fraunhofer, découverte à laquelle Wollaston était aussi arrivé de son côté par une autre voie, au commencement de ce siècle. Ces physiciens ont constaté que, quand le spectre lumineux que nous venons de décrire est produit par un spectroscope ou par tout appareil équivalent, le spectre n'est pas réellement continu, mais se trouve

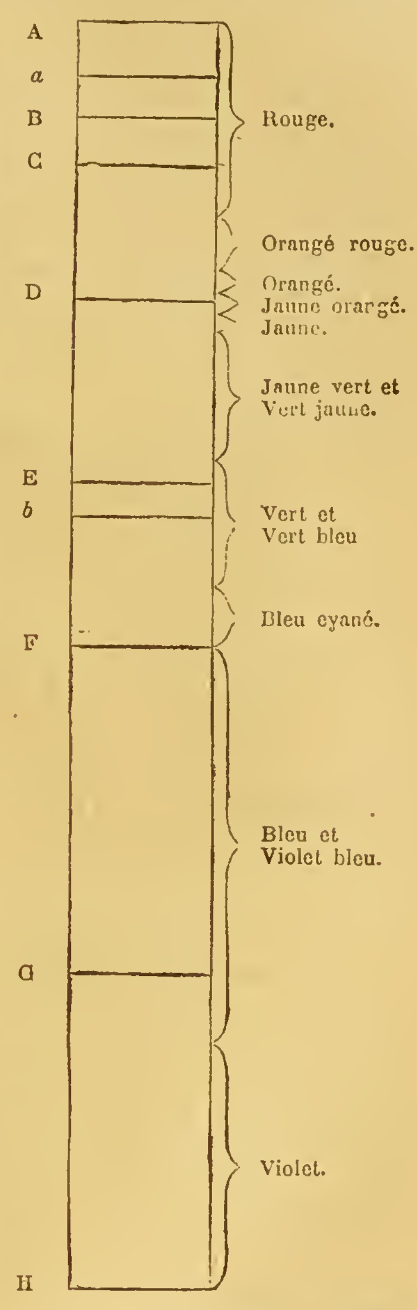


Fig. 3. — Raies fixes et espaces colorés du spectre donné par le prisme.

divisé transversalement en un grand nombre de petits espaces. Les lignes de division ont reçu le nom de raies fixes du spectre solaire. Elles n'ont guère d'intérêt pour nous que comme points de repère excellents pour nous guider à travers les espaces vagues occupés par des couleurs mal définies. La figure 3 indique les positions de quelques-unes des raies fixes les plus importantes du spectre. Cette figure est faite d'après les mesures que j'ai prises sur un prisme de *flint-glass*, avec l'aide d'un grand spectroscope, ou plutôt d'un spectromètre, admirablement construit par W. Grunow, de New-York. En même temps, je faisais une série d'observations sur l'étendue des espaces colorés du spectre ; ils sont indiqués sur la figure, et j'en ai donné la mesure exacte dans un des tableaux qui suivent [1]. Supposons le spectre divisé en 1000 parties de A en H ; alors le tableau suivant indique les positions des raies fixes :

RAIES FIXES DU SPECTRE DONNÉ PAR LE PRISME.

A	0	E	363,11
a	40,05	*b*	389,85
B	74,02	F	493,22
C	112,71	G	753,58
D	220,31	H	1000,00

Le tableau suivant donne les positions des espaces colorés de ce spectre, d'après nos propres observations :

ESPACES COLORÉS DU SPECTRE DONNÉ PAR LE PRISME.

Le rouge commence à	0
Le rouge finit et le rouge orangé commence à...	149
Le rouge orangé finit et l'orangé commence à...	194
L'orangé finit et le jaune orangé commence à...	210

1. On remarquera que le mot *indigo*, primitivement employé par Newton, a été entièrement rejeté dans cet ouvrage, et remplacé par le mot *outremer*. C'est Bezold qui a proposé ce changement il y a quelque temps, repoussant le mot indigo à cause de l'aspect terne de cette substance; mais l'objection qui m'a semblé bien plus décisive, c'est que l'indigo en dissolution, et tel qu'on l'emploie pour la peinture, est d'un bleu un peu verdâtre, c'est-à-dire de la même couleur que le bleu de Prusse, mais beaucoup plus noir. Quand l'indigo est sec, cette tendance vers le vert est neutralisée par la teinte rougeâtre qu'il prend quelquefois : Newton le prenait sans doute à l'état de siccité. Un mélange de six parties de bleu d'outremer artificiel, de deux parties de blanc et de quatre-vingt-douze de noir, quand ce mélange est fait d'après la méthode des disques de Maxwell, donne une couleur tout à fait semblable à celle de l'indigo du commerce à l'état sec.

Le jaune orangé finit et le jaune commence à...	230
Le jaune finit et le jaune verdâtre commence à...	240
Le vert jaune finit et le vert commence à.........	344
Le vert bleu finit et le bleu cyané[1] commence à..	447
Le bleu cyané finit et le bleu commence à.......	495
Le bleu violet finit et le violet commence à.....	806
Le violet finit à..................................	1000

L'espace qui précède le zéro est occupé par un rouge très foncé, qui offre une teinte brune ou chocolat, et en dehors du violet, au delà de 1000, est une teinte grisâtre faible, qui a reçu le nom de lavande.

Enfin voici un tableau indiquant l'espace que les différentes couleurs occupent dans le spectre donné par le prisme :

	Nombre de divisions.
Rouge..	149
Rouge orangé.................................	45
Orangé.......................................	16
Jaune orangé.................................	20
Jaune..	10
Jaune verdâtre et vert jaunâtre................	104
Vert et vert bleu............................	103
Bleu cyané...................................	48
Bleu et violet bleu..........................	311
Violet.......................................	194
	1 000

Pour faire ces observations, nous avons disposé chaque expérience de façon qu'une bande étroite du spectre se présentât seule à l'observateur; nous pouvions ainsi en étudier les teintes l'une après l'autre, et éviter les erreurs causées par le contraste des couleurs. Les chiffres contenus dans les deux derniers tableaux sont la moyenne de quinze à vingt observations. Les teintes des couleurs spectrales varient considérablement avec leur intensité lumineuse; nous avons donc choisi pour ces expériences un degré d'intensité lumineuse dont l'éclat n'eût rien de gênant dans les parties les plus lumineuses du spectre, et nous avons, autant que possible, conservé les mêmes dispositions dans les expériences subséquentes.

Les couleurs telles qu'on les voit au spectroscope se suivent réellement dans l'ordre de leurs longueurs d'onde ; c'est donc le rouge qui a la plus grande longueur d'onde, et le violet la plus petite. Mais

1. Le bleu cyané est un bleu verdâtre.

le prisme de verre présente les couleurs d'une manière qui prête à la critique : il rapproche certaines parties de la série colorée plus que ne le demande la différence de leurs longueurs d'onde, et il dilate d'autres parties en leur attribuant une étendue plus grande que celle à laquelle elles ont droit. Le rouge, par exemple, l'orangé et le jaune sont entassés dans un petit espace, tandis que le bleu et le violet occupent une place exagérée. Ces défauts nous montrent la nécessité de faire un pas de plus, et, sans renoncer à l'emploi du spectroscope, d'en remplacer le prisme par un réseau de diffraction, c'est-à-dire par une plaque de verre sur laquelle ont été tracées, à des distances égales, des lignes très fines, parallèles entre elles, telles que les faisait le célèbre Nobert, et plus récemment Rutherfurd, avec une perfection encore plus grande. Dans l'ouvrage que nous avons indiqué plus haut, M. Lommel explique la manière dont une plaque ainsi rayée produit les couleurs ; pour le moment, il nous suffit de savoir que l'apparence générale du spectre reste la même : on y retrouve la même série de couleurs, les mêmes raies fixes ; mais dans ce nouveau spectre toutes les couleurs sont disposées d'une manière qui concorde avec leurs longueurs d'onde. D'après cette nouvelle répartition des espaces, le jaune occupe à peu près le milieu du spectre ; le rouge et les diverses variétés d'orangé ont plus de place que précédemment, et les dimensions du bleu et du violet se trouvent considérablement réduites.

Supposons, comme auparavant, que le spectre, de A en H, soit divisé en 1000 parties égales ; alors le tableau suivant, calculé d'après les observations d'Angström, indiquera les positions des principales raies fixes :

Raies fixes du spectre normal.

A	0	E	638,92
a	113,74	*b*	664,70
B	201,61	F	749,24
C	285,05	G	902,07
D	468,38	H	1000,00

Le tableau suivant donne les positions des espacés colorés du spectre normal, d'après nos propres observations :

Espaces colorés du spectre normal.

Le rouge commence à	0
Le rouge pur finit et le rouge orangé commence à	330

Le rouge orangé finit et le l'orangé commence à	434
L'orangé finit et le jaune orangé commence à	459
Le jaune orangé finit et le jaune commence à	485
Le jaune finit et le jaune verdâtre commence à	498
Le vert jaune finit et le vert franc commence à	595
Le vert franc finit et le vert bleu commence à	682
Le vert bleu finit et le bleu cyané commence à	698
Le bleu cyané finit et le bleu commence à	749
Le bleu finit et le bleu violet commencé à	823
Le violet bleu finit et le violet franc commence à	940

Le tableau qui suit indique les espaces occupés par les diverses couleurs du spectre normal :

Rouge pur	330
Rouge orangé	104
Orangé	25
Jaune orangé	26
Jaune	13
Jaune verdâtre et vert jaune	97
Vert franc	87
Vert bleu	16
Bleu cyané	51
Bleu	74
Bleu violet et violet bleu	117
Violet pur	60
	1000

La figure 4 représente le spectre normal avec ses raies fixes et ses espaces colorés, disposés d'après les tableaux qui précèdent.

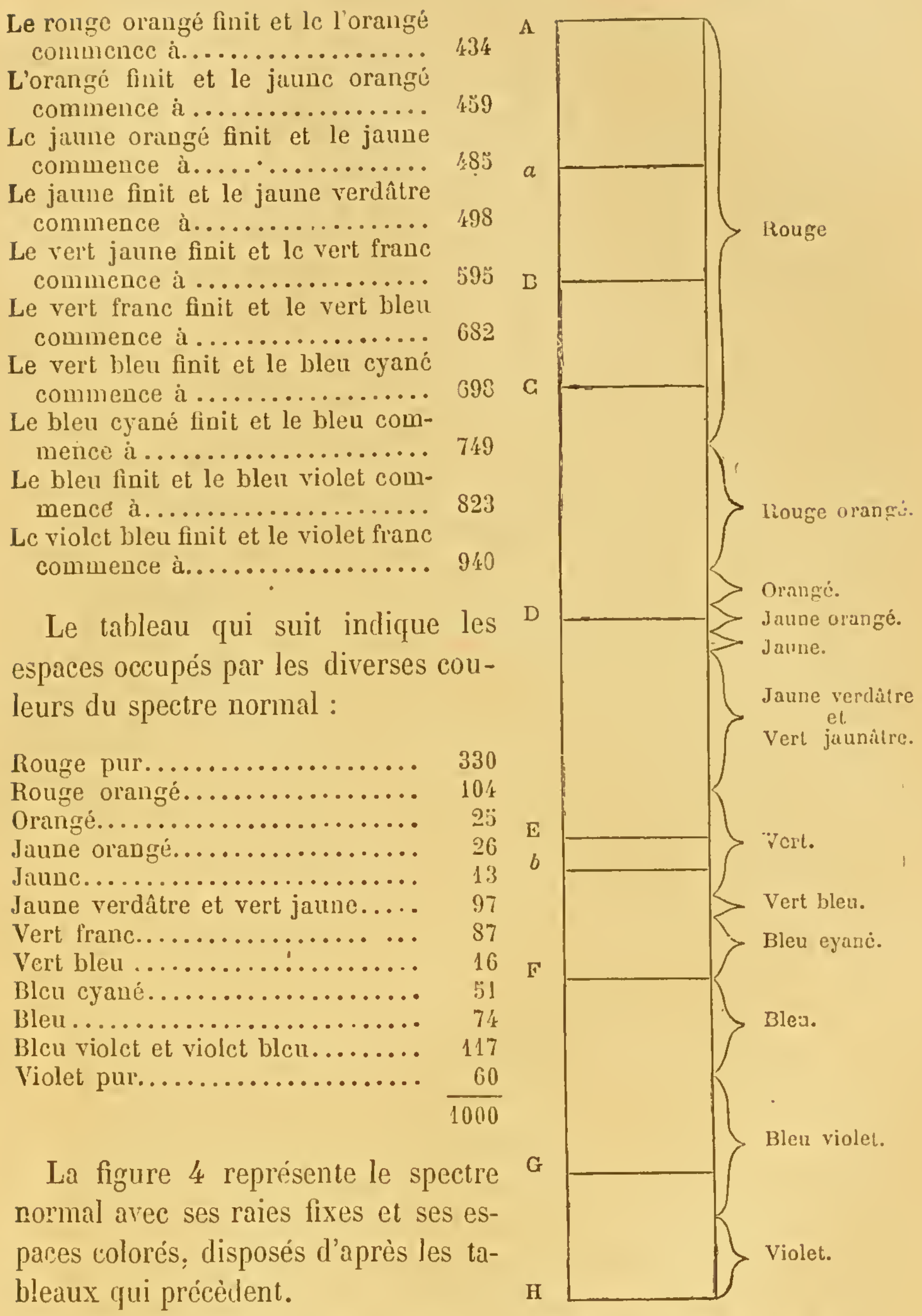


Fig. 4. — Raies fixes et espaces colorés du spectre normal.

Si nous comparons ces tableaux à ceux que donne un prisme de verre, nous verrons que les raies fixes et les espaces colorés ne sont pas disposés tout à fait de même ; nous avons déjà indiqué la principale cause de cette différence. Cependant, lorsque nous comparons les espaces qu'occupent les couleurs des deux spectres, il faut aussi nous

rappeler que nous devons encore tenir compte d'une autre cause : en effet, la répartition de la luminosité n'est pas la même dans les deux spectres, et, comme nous le verrons au chapitre XII, cette répartition exerce une certaine influence sur l'apparence des couleurs elles-mêmes ; ainsi le rouge très lumineux prend une teinte orangée, le bleu très foncé tend à paraître violet, etc. Le spectre normal dont nous nous sommes servi a été obtenu au moyen d'un magnifique réseau parallèle dû à M. Rutherfurd. La plaque de verre contenait près de 750 lignes par millimètre et était argentée par derrière, de sorte que les couleurs avaient autant d'éclat que celles qui viennent d'un prisme de verre. Le spectre choisi par l'opérateur était à peu près six fois plus long que celui du prisme de verre, circonstance qui devait naturellement favoriser l'exactitude des observations.

Les tableaux que nous venons de donner nous rendent très facile de calculer les longueurs des ondes lumineuses qui correspondent aux milieux des espaces colorés du spectre normal. Pour cela, il suffit de constater le nombre qui correspond, par exemple, au milieu de l'espace rouge; on multiplie ce nombre par 3.653, et on retranche de 7603 le produit ainsi obtenu : le reste exprimera, en dix-millioniémes de millimètre, la longueur d'onde correspondant à cette partie du spectre normal. Le tableau suivant contient les longueurs d'onde qui correspondent aux milieux des espaces colorés :

Longueurs d'onde en $\frac{1}{10\,000\,000}$ de millimètre.

Milieu de l'espace	rouge	7000
»	rouge orangé	6208
»	orangé	5972
»	jaune orangé	5879
»	jaune	5808
»	vert franc	5271
»	vert bleu	5082
»	bleu cyané	4960
	bleu	4732
»	bleu violet	4383
»	violet pur	4059

Les résultats que nous donnons ici diffèrent un peu des résultats obtenus par Listing en 1867 ; les différences sont dues en partie aux termes employés : ainsi nous avons partagé en rouge orangé, orangé et jaune orangé un espace que Listing désigne simplement sous le nom d'orangé. D'après nous, le bleu cyané tombe du côté du rouge

par rapport à la raie F. tandis que Listing le place du côté du violet par rapport à cette raie. Nous pourrions faire voir encore d'autres différences moins importantes; mais, comme cette discussion ne serait pas à sa place dans un ouvrage tel que celui-ci. nous renvoyons le lecteur au mémoire de Listing pour des détails plus approfondis [1].

En étudiant un peu le spectre normal de la figure 4, nous allons pouvoir répondre à quelques questions intéressantes. Nous avons déjà vu que tout changement de couleur est accompagné d'un changement dans la longueur des ondes lumineuses qui produisent cette couleur; par conséquent, si nous partons d'une des extrémités de notre spectre normal, où la couleur est rouge, et la longueur des ondes égale à 7603 dix-millionièmes de millimètre, en diminuant cette longueur nous nous attendons à voir un changement correspondant s'opérer dans la couleur de la lumière : nous pensons que de petits changements de longueur d'onde produisent de petits effets sur la couleur, et de grands changements des effets plus considérables.

Or voici la question qui se présente : des changements égaux de longueur d'onde sont-ils réellement accompagnés d'égales modifications de teinte dans toutes les parties du spectre? Prenons un exemple : lorsque nous partons du jaune orangé. en traversant le jaune pur et le jaune verdâtre pour arriver au cœur de la région vert jaune, nous sommes forcés de raccourcir notre longueur d'onde d'environ 400 de nos unités; un raccourcissement égal dans d'autres régions du spectre nous fera-t-il passer par autant de changements de teinte? La réponse à cette question n'est pas tout à fait ce que nous nous croyions en droit de prévoir. Dans une grande partie de la région rouge, un changement de cette espèce ne produit que de faibles effets, et le rouge tend seulement un peu plus ou moins vers l'orangé; de même pour les espaces bleu et violet, où la teinte ne fait que tendre un peu vers le bleu ou vers le violet, suivant le cas. Il semble donc que l'œil soit bien plus sensible aux changements de longueur d'onde dans les régions moyennes du spectre qu'à l'une ou l'autre extrémité. Cette circonstance est, tout au moins, curieuse; mais, chose plus importante pour nous, c'est un argument puissant contre toute théorie des couleurs qui serait fondée sur des analogies supposées avec la musique. Mais nous reviendrons plus tard sur cette question.

Ni le spectre du prisme ni notre spectre normal ne nous ont donné

1. *Annalen* de Poggendorf, CXXXI, p. 564.

de couleurs représentant le pourpre ou les teintes pourprées. Cette sensation ne peut être produite par une série unique d'ondes lumineuses, quelle qu'en soit la longueur ; il faut, pour la déterminer, l'action combinée des ondes rouges et des violettes, ou encore celle des ondes rouges et des bleues. Les types de toutes les autres teintes possibles se retrouvent dans quelque partie du spectre, et, comme on le verra dans le chapitre suivant, cette remarque s'applique aussi bien à toute la série des bruns et des gris qu'aux couleurs comme le vermillon et l'outremer.

Nous avons vu que le mélange d'ondes longues et d'ondes courtes qui constitue la lumière blanche peut être ramené par un prisme à

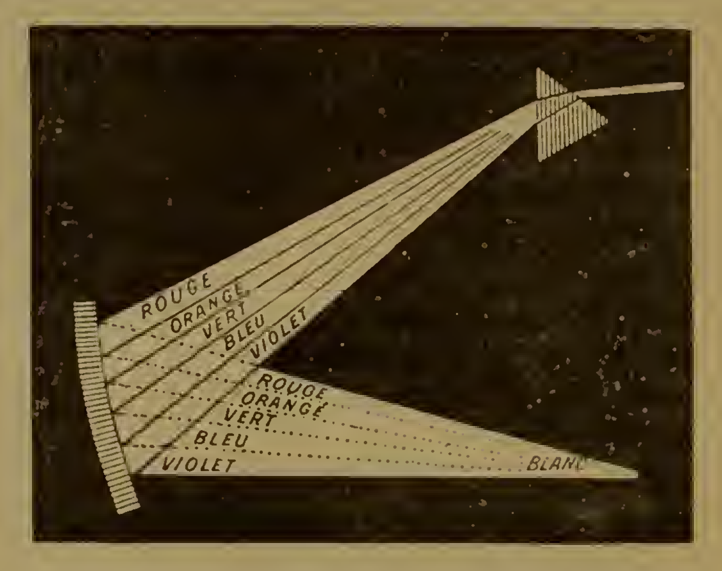


Fig. 5. — Recomposition de la lumière blanche.

ses éléments constitutifs : les ondes longues produisent sur nous la sensation à laquelle nous donnons le nom de rouge, et, si nous faisons agir sur notre œil des ondes de plus en plus courtes, nous passons successivement par les sensations nommées orangé, jaune, vert, bleu et violet. D'un autre côté, en combinant ou en mélangeant ces différentes espèces de lumière, nous reproduisons la lumière blanche. Il y a bien des manières différentes d'opérer cette recomposition ; une des plus frappantes a été imaginée il y a plusieurs années par M. le professeur Eli Blake. On fait tomber le spectre sur une bande de verre empruntée à un miroir ordinaire, puis on courbe légèrement cette bande avec la main ; elle agit alors comme un miroir concave, et peut concentrer tous les rayons colorés sur une feuille de papier disposée à une certaine distance, comme l'indique la figure 5. Le foyer où tous les rayons colorés se réunissent ou se mélangent paraît absolument blanc.

CHAPITRE III

CONSTANTES DES COULEURS

Les teintes produites par la nature et l'art sont si nombreuses, souvent si vagues et indéfinies ; elles subissent tellement l'influence des objets voisins ou du genre d'éclairage auquel elles sont soumises, que l'on pourrait croire au premier abord qu'elles n'ont rien de constant, qu'elles ne possèdent aucune propriété fixe dont on puisse se servir pour les réduire à un certain ordre et ramener leur multitude immense à une série simple, malgré son étendue.

Examinons la question de plus près. Nous avons vu que l'action d'une seule série d'ondes sur l'œil détermine une sensation de couleur qui est parfaitement définie, et qui peut être indiquée avec précision par la région du spectre qu'elle occupe. Nous avons aussi reconnu que, si des ondes lumineuses de toutes les longueurs possibles agissent à la fois sur l'œil, elles y déterminent la sensation du blanc. Supposons que nous donnions naissance par la première méthode à une sensation de couleur définie, et qu'ensuite, par la seconde méthode, nous y ajoutions la sensation du blanc : nous aurons alors de la lumière blanche ajoutée ou mêlée à de la lumière colorée. Ce mélange peut se faire en projetant le spectre solaire sur une grande feuille de papier blanc, et en faisant ensuite tomber sur la même feuille de papier la lumière blanche réfléchie par un miroir argenté ou par une glace sans tain. La figure 6 représente cette expérience. En faisant mouvoir le miroir M, on peut amener la bande de lumière blanche successivement sur toutes les parties du spectre, de manière à obtenir toute une série de mélanges de lumière blanche avec les différentes couleurs du spectre. L'effet général de la lumière blanche sera de diminuer l'action de la lumière colorée; le mélange enverra, il est vrai, plus de lumière à l'œil, mais il sera plus pâle ; l'élément

de couleur commencera à être rejeté vers le dernier plan. Réciproquement, si nous analysions maintenant, à l'aide d'un second prisme, notre mélange de lumière blanche et de lumière colorée, nous devrions infailliblement y reconnaître la présence de la première aussi bien que de la seconde; ou, s'il n'y avait pas de lumière blanche, il serait facile de le constater. Il est donc évident que, lorsqu'on nous présente une couleur particulière, nous pouvons affirmer qu'elle est absolument pure, c'est-à-dire tout à fait exempte de lumière blanche, ou qu'elle contient en mélange une proportion plus ou moins grande de cet élément étranger. Voilà un premier pas vers la classification des couleurs : nos couleurs types pures seront celles que donne le spectre; la lumière colorée qui vient de la surface des objets naturels,

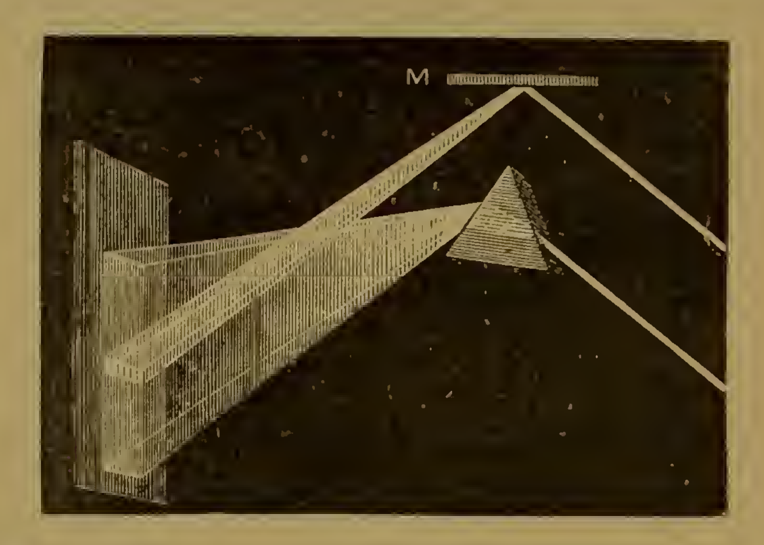


Fig. 6. — Manière de mêler de la lumière blanche aux couleurs du spectre.

ou des surfaces peintes, doit être comparée aux teintes du spectre. En le faisant, nous constaterons, dans presque tous les cas, la présence d'une plus ou moins grande quantité de lumière blanche; dans la grande majorité des cas, celle-ci aura sur la lumière colorée une prépondérance bien marquée. Prenons un exemple pour mieux nous faire comprendre : passons une couche de vermillon sur un papier blanc, et comparons-le au spectre solaire. La teinte générale du papier correspond à une certaine partie de l'espace rouge de ce spectre, mais les deux couleurs ne sont jamais identiques, et celle du papier paraît toujours trop pâle. Ajoutons maintenant de la lumière blanche à la teinte pure du spectre, en nous servant du miroir de la figure 6 comme réflecteur, et nous réussirons à appareiller les deux couleurs.

Si nous savons combien nous avons ajouté de lumière blanche, nous pourrons dire que la lumière réfléchie par le vermillon se compose, par exemple, de 80 pour 100 de la lumière rouge de telle région du spectre, mélangée de 20 pour 100 de lumière blanche. Si nous faisons l'expérience avec une surface peinte en vert émeraude, nous obtiendrons à peu près le même résultat, tandis que nous trouverons que le bleu d'outremer artificiel réfléchit environ 25 pour 100 de lumière blanche. Dans tous ces cas, il va sans dire que la quantité totale de lumière réfléchie par le papier coloré est représentée par 100, de sorte que les résultats donnés ici ne doivent être regardés que comme des approximations. Dans toute couleur réfléchie, il y a une certaine quantité de lumière blanche, qui a pour effet d'adoucir la couleur et de modérer son action sur l'œil; lorsque la proportion de blanc est très considérable, il ne reste plus qu'une faible réminiscence de la couleur primitive : nous disons alors que la teinte est gris verdâtre, gris bleuâtre ou gris rougeâtre. Si l'on mêle une partie de lumière rouge avec seize de lumière blanche, le mélange présente une teinte rosâtre pâle. Nous étudierons au chapitre XII, d'une manière toute spéciale, les effets produits par le mélange de la lumière blanche avec la lumière colorée; il nous suffira pour le moment d'avoir donné l'idée d'une des constantes de la couleur, qui est la pureté. Ce mot de *pureté*, il faut le noter, est souvent employé par les peintres dans un sens tout à fait différent : ils diront, en parlant d'un tableau, qu'il est remarquable par la pureté de sa couleur; ils entendent par là que les teintes du tableau en question n'ont rien de terne ou de sale dans leur aspect, mais ne veulent pas du tout parler de l'absence de la lumière blanche ou grise.

Poursuivons cette étude, et supposons que l'on nous donne à examiner deux surfaces colorées, réfléchissant toutes deux huit dixièmes de lumière rouge et deux dixièmes de lumière blanche. Malgré cela, il se peut que les deux teintes ne soient pas identiques, et que l'une d'elles soit bien plus brillante que l'autre : elle contiendra peut-être deux fois autant de lumière rouge et deux fois autant de lumière blanche, ou, en d'autres termes, elle aura un éclat ou une luminosité double. Le seul moyen d'appareiller ces deux teintes sera d'exposer la plus sombre des deux à une lumière plus forte, ou la plus brillante des deux à une lumière plus faible. Evidemment donc, l'éclat ou la luminosité est une des propriétés par lesquelles nous pouvons définir la couleur; voilà notre seconde con-

stante de couleur. Le mot *luminosité* aussi est souvent employé par les peintres dans un sens tout à fait différent : ils disent d'une des couleurs d'un tableau qu'elle est *lumineuse*. simplement parce qu'elle rappelle à l'esprit l'impression de la lumière, et non parce qu'elle réfléchit réellement beaucoup de lumière à l'œil. Ils emploient quelquefois l'expression de *couleur brillante* à peu près dans le même sens, mais les idées sont si différentes qu'il n'y a guère de risque de les confondre.

Il est possible de déterminer la seconde constante dans certains cas, mais cette détermination se présente toujours sous la forme d'un problème de photométrie assez difficile. L'éclat relatif des couleurs du spectre solaire est un des plus intéressants de ces problèmes, parce que sa solution servirait à donner quelque idée de l'éclat relatif des couleurs dont la réunion constitue la lumière blanche. Tout récemment, une série de mesures a été faite sur différentes régions du spectre par Vierordt, qui a rapporté aux raies fixes, comme on le fait d'ordinaire pour ces études, la position des points auxquels s'appliquent ces mesures [1]. En ramenant ses désignations des différentes régions du spectre à celles de notre carte spectrale, qui comprend 1000 parties de A en H (voir le chapitre précédent), et en indiquant les couleurs d'après nos observations, nous obtenons le tableau qui suit :

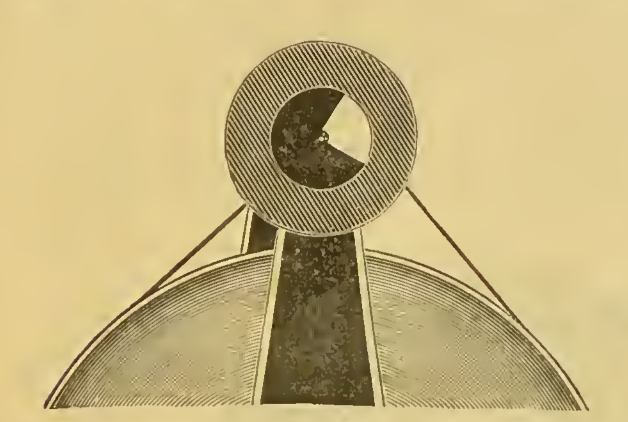
Tableau indiquant la luminosité des différentes régions du spectre donné par le prisme.

Position.				Luminosité.	Couleur.
De	40,5	à	57.....	80	Rouge foncé.
»	104,5	»	112,71...	493	Rouge pur.
»	112,71	»	138,5....	1100	Rouge.
»	158,5	»	168,5 ...	2773	Rouge orangé.
»	189	»	220,31...	6985	Orangé et jaune orangé.
»	220,31	»	231,5 ...	7891	Jaune orangé.
»	231,5	»	363,11 ..	3033	Jaune verdâtre, vert jaune et vert.
»	389,85	»	493,22 ..	1100	Vert-bleu et bleu cyané.
»	493,22	»	558,5....	493	Bleu.
»	623,5	»	689,5. ..	90,6	Outremer (artificiel).
»	753,58	»	825,5. ..	35,9	Violet bleu.
»	896,5	»	956.....	13,1	Violet.

Les disques tournants permettent souvent de déterminer la seconde constante [2]. Supposons qu'il s'agisse de déterminer la luminosité d'un

1. C. Vierordt, *Annalen* de Poggendorff, vol. CXXXVII, p. 200.
2. *American Journal of Science and Arts*, février 1878.

papier peint en vermillon : on découpe dans ce papier un disque circulaire d'environ 15 centimètres de diamètre, et on le met sur un appareil de rotation, comme l'indique la figure 7. On fixe sur le même axe un double disque de papier noir et de papier blanc, disposé de façon que l'on puisse faire varier à volonté les proportions de noir et de blanc [1]. Quand on imprime à l'ensemble un mouvement de rotation rapide, la couleur du papier vermillon ne sera évidemment pas changée, tandis que le noir et le blanc s'uniront pour donner du





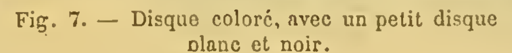


Fig. 7. — Disque coloré, avec un petit disque blanc et noir.

Fig. 8. — Effet produit par la rotation de ces disques.

gris. On pourra modifier l'éclat de ce gris et l'amener à paraître à peu près aussi lumineux que le rouge (fig. 8). Si nous trouvons, par exemple, qu'en mettant sur le double disque trois quarts de noir et un quart de blanc l'égalité d'éclat paraît établie, nous en conclurons que la luminosité de la surface rouge en question est 25 pour 100 de celle du papier blanc. Ceci n'est vrai qu'en supposant que le papier noir ne réfléchisse pas de lumière; or, en réalité, il en réfléchit de 2 à 6 pour 100, le pouvoir réflecteur du papier blanc étant représenté par 100. Le disque noir dont nous nous sommes servi dans cette expérience réfléchissait 5,2 pour 100 de lumière blanche; il a donc fallu faire une correction, et nous avons fait une série de mesures dont voici quelques-unes des plus importantes :

	Luminosité.
Papier blanc	100
Vermillon (anglais) [2]	25,7

1. Voyez Maxwell, *Disks*, chap. X.
2. En pâte épaisse.

couleur spectrale choisie ; à la partie inférieure du champ, l'échelle est visible et permet de déterminer la position exacte de la couleur donnée par le prisme. Au lieu de se servir d'une échelle divisée en parties égales, on a souvent avantage à suivre la méthode indiquée par M. J.-C. Dalton, qui s'en est servi pour déterminer la position de certaines bandes d'absorption. M. Dalton a pris pour échelle une très petite photographie qui indique les positions des raies fixes, et partage d'une manière commode les espaces situés entre elles. La figure 9 montre l'apparence du champ visuel et de l'échelle. Pour plus d'exactitude, on peut se servir du spectroscope automatique à six prismes de Rutherfurd (fig. 10) [1]. Ceux qui étudient les couleurs et qui ont le bonheur de posséder une plaque à réseaux de diffraction, peuvent également s'en servir [2]. C'est avec un excellent réseau de cette espèce, qu'il tient de M. Rutherfurd, que l'auteur a pu déterminer la troisième constante pour plusieurs disques colorés. La table qui suit donne leurs positions sur un spectre normal divisé en 1000 parties de A en H, ainsi que les longueurs d'onde correspondantes :

Nom de la couleur.	Position sur le spectre normal.	Longueur d'onde en $\frac{1}{10\,000\,000}$ de mm.
Vermillon (anglais)..........	387	6290
Minium.................	422	6061
Jaune de chrome pâle........	488	5820
Vert émeraude.............	648	5234
Bleu de Prusse..............	740	4899
Bleu de cobalt..............	770	4790
Outremer (naturel)..........	785	4735
Outremer (artificiel)..........	857	4472
Même couleur, avec teinte de violet d'Hoffmann B. B.....	916	4257

Nous avons vu que la première constante est relative à la pureté de la couleur, ou indique la quantité relative de lumière blanche qui s'y trouve mêlée. Cette constante est toujours difficile à déterminer; on arriverait probablement à un résultat en appliquant d'une manière pratique l'idée qu'exprime la figure 6, et pour cela il faudrait faire certaines additions à l'appareil que cette figure représente. Il serait

1. La figure 10 est la reproduction exacte du dessin donné par Rutherfurd de son spectroscope à six prismes (*American Journal of Science and Arts*, 1865).

2. Voyez le chapitre IV pour la description de ce réseau.

nécessaire de mesurer la luminosité relative de la teinte spectrale choisie pour l'expérience et de la lumière blanche, puis de les mêler en proportions convenables, jusqu'à ce que le mélange s'appareillât bien avec le papier coloré, etc. La deuxième constante et la troisième sont plus faciles à déterminer.

Il est bon de dire ici quelques mots des termes employés pour représenter ces constantes. Pour la première, le mot *pureté*, dans le sens d'absence de lumière blanche (ou de la sensation du blanc), est très convenable. Le mot *luminosité* sera employé dans cet ouvrage pour désigner la deuxième constante ; la troisième sera généralement désignée par le mot *teinte*. On dit souvent aussi que les couleurs sont intenses ou saturées lorsqu'elles sont à la fois très pures et très lumineuses ; car il est bien évident que, quelque pure que soit la lumière colorée, elle ne fera cependant que très peu d'effet sur l'œil si sa quantité totale est faible ; d'un autre côté, il est clair que son action sur le même organe ne sera que minime, si elle est étendue de beaucoup de lumière blanche. La pureté et la luminosité sont donc les facteurs dont dépend l'intensité ou la saturation. Nous verrons plus bas que ceci n'est vrai que dans certaines limites, et qu'un accroissement exagéré de luminosité est accompagné d'une perte d'intensité de teinte ou de saturation.

Après avoir défini les trois constantes des couleurs, il n'est pas sans intérêt d'examiner quelle est la sensibilité de l'œil sous ces rapports. Ce sujet a été étudié par Aubert, qui a fait de nombreuses observations en se servant de disques colorés [1]. Il a constaté que l'addition d'une seule partie de lumière blanche à 360 de lumière colorée détermine un changement appréciable à l'œil ; une quantité plus faible ne donne pas ce résultat. Il a aussi reconnu que, si l'on mêle la lumière colorée d'un disque à une quantité de lumière blanche (donnée par un papier blanc) variant entre 120 et 180 parties, la première devient imperceptible, et la teinte obtenue ne peut plus se distinguer de celle du papier blanc [2]. Il a pu, dans des circon-

1. Aubert, *Physiologie der Netzhaut*. Breslau, 1865.
2. Pour arriver à des résultats exacts, il va sans dire qu'il faut connaître la luminosité relative du disque coloré et du disque blanc, car dans les résultats d'Aubert que nous venons de citer elle est considérée comme la même. La table des luminosités que nous avons donnée plus haut permet de faire cette correction, et l'on verra qu'il faut en réalité une quantité de lumière blanche quatre ou cinq fois plus grande que celle indiquée par Aubert.

couleur spectrale choisie ; à la partie inférieure du champ, l'échelle est visible et permet de déterminer la position exacte de la couleur donnée par le prisme. Au lieu de se servir d'une échelle divisée en parties égales, on a souvent avantage à suivre la méthode indiquée par M. J.-C. Dalton, qui s'en est servi pour déterminer la position de certaines bandes d'absorption. M. Dalton a pris pour échelle une très petite photographie qui indique les positions des raies fixes, et partage d'une manière commode les espaces situés entre elles. La figure 9 montre l'apparence du champ visuel et de l'échelle. Pour plus d'exactitude, on peut se servir du spectroscope automatique à six prismes de Rutherfurd (fig. 10) [1]. Ceux qui étudient les couleurs et qui ont le bonheur de posséder une plaque à réseaux de diffraction, peuvent également s'en servir [2]. C'est avec un excellent réseau de cette espèce, qu'il tient de M. Rutherfurd, que l'auteur a pu déterminer la troisième constante pour plusieurs disques colorés. La table qui suit donne leurs positions sur un spectre normal divisé en 1000 parties de A en H, ainsi que les longueurs d'onde correspondantes :

Nom de la couleur.	Position sur le spectre normal.	Longueur d'onde en $\frac{1}{10\,000\,000}$ de mm.
Vermillon (anglais)..........	387	6290
Minium.................	422	6061
Jaune de chrome pâle........	488	5820
Vert émeraude..............	648	5234
Bleu de Prusse..............	740	4899
Bleu de cobalt..............	770	4790
Outremer (naturel)..........	785	4735
Outremer (artificiel)..........	857	4472
Même couleur, avec teinte de violet d'Hoffmann B. B.....	916	4257

Nous avons vu que la première constante est relative à la pureté de la couleur, ou indique la quantité relative de lumière blanche qui s'y trouve mêlée. Cette constante est toujours difficile à déterminer ; on arriverait probablement à un résultat en appliquant d'une manière pratique l'idée qu'exprime la figure 6, et pour cela il faudrait faire certaines additions à l'appareil que cette figure représente. Il serait

1. La figure 10 est la reproduction exacte du dessin donné par Rutherfurd de son spectroscope à six prismes (*American Journal of Science and Arts*, 1865).

2. Voyez le chapitre IV pour la description de ce réseau.

nécessaire de mesurer la luminosité relative de la teinte spectrale choisie pour l'expérience et de la lumière blanche, puis de les mêler en proportions convenables, jusqu'à ce que le mélange s'appareillât bien avec le papier coloré, etc. La deuxième constante et la troisième sont plus faciles à déterminer.

Il est bon de dire ici quelques mots des termes employés pour représenter ces constantes. Pour la première, le mot *pureté*, dans le sens d'absence de lumière blanche (ou de la sensation du blanc), est très convenable. Le mot *luminosité* sera employé dans cet ouvrage pour désigner la deuxième constante ; la troisième sera généralement désignée par le mot *teinte*. On dit souvent aussi que les couleurs sont intenses ou saturées lorsqu'elles sont à la fois très pures et très lumineuses ; car il est bien évident que, quelque pure que soit la lumière colorée, elle ne fera cependant que très peu d'effet sur l'œil si sa quantité totale est faible ; d'un autre côté, il est clair que son action sur le même organe ne sera que minime, si elle est étendue de beaucoup de lumière blanche. La pureté et la luminosité sont donc les facteurs dont dépend l'intensité ou la saturation. Nous verrons plus bas que ceci n'est vrai que dans certaines limites, et qu'un accroissement exagéré de luminosité est accompagné d'une perte d'intensité de teinte ou de saturation.

Après avoir défini les trois constantes des couleurs, il n'est pas sans intérêt d'examiner quelle est la sensibilité de l'œil sous ces rapports. Ce sujet a été étudié par Aubert, qui a fait de nombreuses observations en se servant de disques colorés [1]. Il a constaté que l'addition d'une seule partie de lumière blanche à 360 de lumière colorée détermine un changement appréciable à l'œil ; une quantité plus faible ne donne pas ce résultat. Il a aussi reconnu que, si l'on mêle la lumière colorée d'un disque à une quantité de lumière blanche (donnée par un papier blanc) variant entre 120 et 180 parties, la première devient imperceptible, et la teinte obtenue ne peut plus se distinguer de celle du papier blanc [2]. Il a pu, dans des circon-

1. Aubert, *Physiologie der Netzhaut*. Breslau, 1865.
2. Pour arriver à des résultats exacts, il va sans dire qu'il faut connaître la luminosité relative du disque coloré et du disque blanc, car dans les résultats d'Aubert que nous venons de citer elle est considérée comme la même. La table des luminosités que nous avons donnée plus haut permet de faire cette correction, et l'on verra qu'il faut en réalité une quantité de lumière blanche quatre ou cinq fois plus grande que celle indiquée par Aubert.

stances favorables, reconnaître des différences de luminosité qui ne dépassaient pas $\frac{1}{120}$ ou même $\frac{1}{180}$. Mais quand les irrégularités de lumière ou de distribution de la matière colorante sont au-dessous de $\frac{1}{180}$ de la quantité totale de lumière réfléchie, elles échappent nécessairement à l'œil. Aubert a encore fait, avec des disques rouges, orangés et bleus, des expériences sur la sensibilité de l'œil aux changements de teintes ou de longueurs d'onde; par exemple, la combinaison du disque bleu avec une portion minime du disque rouge change la teinte primitive en la faisant tirer un peu sur le violet; ou, au contraire, en ajoutant au disque rouge une faible quantité de bleu, on fait varier la teinte primitive dans la direction du pourpre [1]. Des combinaisons analogues peuvent être faites avec d'autres disques. Aubert a constaté par cette méthode que des changements de teinte appréciables peuvent s'obtenir par l'addition de quantités de lumière colorée qui ne dépassent pas $\frac{1}{100}$ ou même $\frac{1}{300}$ de la quantité totale de lumière sur laquelle on fait l'expérience. Ces données lui ont permis d'établir par le calcul que dans le spectre solaire le nombre des teintes perceptibles ne peut pas être inférieur à mille. Mais nous pouvons toujours distinguer ces teintes, même quand la lumière qui les produit subit de grandes variations de luminosité. Bornons-nous à 100 variations légères, que nous pouvons produire en augmentant peu à peu l'éclat de notre spectre, jusqu'à finir par le rendre cinq fois plus lumineux qu'il ne l'était au commencement. Cela nous fournira cent mille teintes ayant entre elles une différence appréciable. Si nous faisons ensuite varier chacune d'elles vingt fois, par l'addition de quantités différentes de lumière blanche, nous porterons à deux millions le nombre des teintes que nous pouvons distinguer. Dans ce calcul, nous n'avons pas tenu compte de toute la série des pourpres, non plus que des couleurs très lumineuses ou très sombres, ni de celles qui sont mélangées d'une grande quantité de lumière blanche.

Il ne faut pas non plus oublier de citer ici les expériences intéressantes sur la sensibilité de l'œil aux différentes couleurs du spectre, faites par Charles Pierce, qui a constaté que la susceptibilité photo-

1. Voyez le chapitre X.

métrique de l'œil est la même pour toutes les couleurs (voir le *American Journal of Science and Arts,* avril 1877).

Les mesures de Vierordt que nous avons données plus haut, et la détermination que nous avons faite des espaces que les différentes couleurs occupent dans le spectre, nous permettent maintenant de résoudre une question fort intéressante : nous pouvons reconnaître les proportions des différentes couleurs qui entrent dans la composition de la lumière blanche. La quantité de lumière rouge, par exemple, qui se trouve dans le spectre, sera évidemment égale à l'espace que cette lumière y occupe, multiplié par sa luminosité ; de même pour toutes les autres couleurs. Nous avons construit une courbe représentant les résultats de Vierordt, et, en la combinant avec la détermination que nous avons faite de l'étendue des espaces colorés, nous avons obtenu le tableau suivant :

TABLEAU INDIQUANT LES QUANTITÉS DE LUMIÈRE COLORÉE CONTENUES DANS 1000 PARTIES DE LUMIÈRE SOLAIRE BLANCHE.

Rouge	54
Rouge orangé	140
Orangé	80
Jaune orangé	114
Jaune	54
Jaune verdâtre	206
Vert jaunâtre	121
Vert et vert bleu	134
Bleu cyané	32
Bleu	40
Outremer et violet bleu	20
Violet	5
	1000

Les peintres ont l'habitude de diviser les couleurs en couleurs chaudes et couleurs froides. Or, si nous traçons la ligne de séparation de manière à comprendre parmi les couleurs chaudes le rouge, le rouge orangé, l'orangé, le jaune orangé, le jaune, le jaune verdâtre et le vert jaunâtre, nous trouverons que la luminosité totale des couleurs chaudes contenues dans la lumière blanche est un peu plus de trois fois celle des couleurs froides. Si nous excluons le vert jaunâtre de la liste des couleurs chaudes, le rapport de luminosité ne sera plus que deux environ. Nous nous servirons plus loin de ce tableau.

Peut-être a-t-il semblé étrange que le papier jaune de chrome dont nous avons parlé plus haut réfléchit 80 pour 100 de lu-

mière (le pouvoir réflecteur du papier blanc étant 100), tandis que le tableau que nous venons de donner indique que la lumière blanche ne contient guère plus de 5 pour 100 de lumière jaune pure. Mais nous ferons voir dans la suite de cet ouvrage que le jaune de chrome réfléchit en réalité non seulement les rayons jaune pur, mais encore les rayons jaune orangé et jaune verdâtre. outre une proportion considérable de lumière rouge, orangée et verte. Le mélange de toutes ces couleurs donne du jaune, comme nous l'expliquerons au chapitre X. La vive luminosité de quelques-uns des autres papiers colorés s'explique de la même façon.

CHAPITRE IV

PRODUCTION DES COULEURS PAR INTERFÉRENCE ET PAR POLARISATION

Nous avons étudié dans le chapitre II les couleurs spectrales produites par un prisme et par un réseau à lignes parallèles ; nous avons reconnu que ces couleurs sont pures, brillantes et, en même temps, très-nombreuses ; aussi les avons-nous adoptées comme termes de comparaison. Mais il en est d'autres qui tiennent de très près à ces couleurs normales ; ce sont les couleurs produites par la polarisation de la lumière. Ces dernières nous présentent une variété de teintes bien plus grande que les couleurs du spectre solaire : au lieu d'une série simple de bandes à nuances délicatement graduées, nous nous trouvons ici en présence d'une immense variété de combinaisons chromatiques, les unes disposées, pour ainsi dire, avec un art infini, les autres présentant l'apparence d'un désordre capricieux, qui semble indiquer que nous pénétrons dans un monde nouveau de couleurs, régi par des lois bien différentes de celles auxquelles nous sommes habitués. Et il en est réellement ainsi : les teintes et l'ordre dans lequel elles sont placées dépendent des lois géométriques qui président à l'arrangement des molécules du cristal, et du retard que subissent les ondes lumineuses en les traversant, de sorte que les couleurs de la lumière polarisée nous montrent, en quelque sorte, les lois mathématiques de la nature renonçant pour un instant à leur inflexibilité et à leur raideur pour se livrer à des jeux pleins de grâce.

L'appareil indispensable pour étudier ces combinaisons séduisantes et souvent hardies des couleurs, n'est ni très compliqué ni très coûteux. La figure 11 représente une forme simple de polariscope. Cet instrument se compose simplement d'une plaque de verre ordinaire située en P, et disposée de façon que l'angle a soit aussi près

que possible de 33°, d'un prisme de Nicol placé en N, et d'une lentille plan-convexe en L, d'environ 25 millimètres de distance focale. La distance entre le prisme et la plaque de verre est de 25 centimètres; la lentille peut s'enlever à volonté, et le prisme de Nicol peut tourner sur son grand axe. Si l'on s'arrange de manière que la plaque de verre réfléchisse, dans la direction du prisme de Nicol, un peu de la lumière qui vient d'un nuage blanc, comme l'indique la flèche, une partie de cette lumière traversera ordinairement le prisme et viendra frapper l'œil en E; il faut alors faire tourner le prisme jusqu'à ce que cette lumière se trouve interceptée, et l'instrument sera

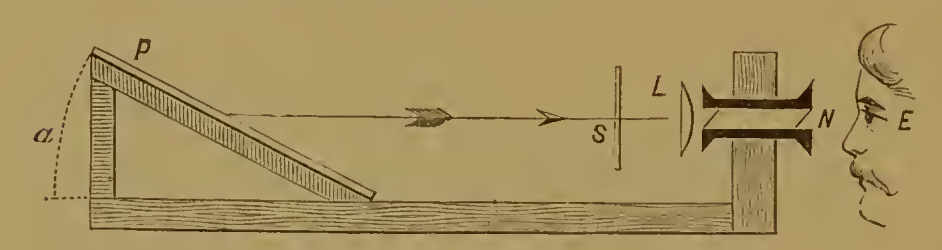


Fig. 11. — Polariscope simplifié.

prêt pour l'expérience. Des lames minces de sélénite ou des cristaux d'acide tartrique, mis en S, de manière à être grossis, montrent d'une manière frappante les couleurs de la polarisation. L'appareil que nous venons de décrire constitue un microscope polarisateur simple; si l'on peut se procurer un microscope polarisateur composé, il sera encore plus facile d'étudier les couleurs et les combinaisons de couleurs que présentent les cristaux d'un grand nombre de sels différents. En faisant dissoudre quelques centigrammes d'un sel dans une goutte d'eau, et en laissant cristalliser la dissolution sur une plaque de verre, on peut facilement se procurer des objets d'étude.

Les plaques minces de sélénite que l'on peut obtenir en séparant avec un canif les lamelles successives de ce minéral, sont excellentes pour étudier les phénomènes de la polarisation chromatique sous leurs formes les plus simples. On verra souvent une plaque presque entière présenter une seule teinte uniforme, qui semble être une nappe colorée enlevée à quelque partie du spectre. Mais, quelque brillante que soit la couleur, elle n'est jamais sans mélange de lumière blanche, et c'est la présence constante de cet élément étranger qui fait paraître les couleurs de polarisation un peu moins intenses que celles du spectre. Avec des plaques un peu plus épaisses, la

proportion de lumière blanche augmente, et efface peu à peu la couleur jusqu'à n'en plus laisser qu'une faible réminiscence. Cependant les teintes les plus fortes égalent tout au moins, si elles ne surpassent, les teintes les plus vigoureuses du soleil couchant, sous le rapport de la pureté, c'est-à-dire de l'absence de lumière blanche. Parmi ces couleurs, nous trouvons bien des nuances de rouge et de rouge-pourpre; tous les orangés rouges y sont représentés, ainsi que les autres couleurs du spectre. En outre, on y voit une série de pourpres qui comblent le vide existant entre les violets et les rouges; il y a aussi un grand nombre de teintes rosées faibles, ainsi que de verts pâles et de verts bleuâtres. De plus, les plaques très minces donnent une série de teintes d'un aspect tout particulier et que l'on n'oublie jamais quand une fois on les a vues; on remarque un jaune fauve singulier uni à un gris bleuâtre; ce jaune se transforme peu à peu en un orangé de même nature, qui devient à son tour rouge brique; le blanc et le noir s'associent souvent à ces teintes peu intenses, et l'impression générale produite par ces combinaisons est sombre, pour ne pas dire lugubre.

Les plaques de sélénite donnent des dessins qui ne sont ni beaux ni compliqués : le plus souvent, les teintes sont disposées en bandes parallèles, présentant çà et là quelques angles dont les nuances contrastent souvent d'une manière marquée avec celles des autres masses de couleur. Rien ne semble indiquer un essai de composition chromatique, si ce n'est peut-être un peu sur les cassures des bords, où l'on voit souvent le gris pâle ou le blanc devenir plus foncé, se transformer en jaune renard, puis en violet rouge, et passer au vert de mer avec une nuance d'outremer pur, ou bien encore se changer brusquement en jaune orangé bien net, suivi quelquefois d'un large espace pourpre. Mais il est aussi ordinaire de trouver toutes les teintes pâles, comme celles dont on se sert pour les cartes, avec une frange étroite de belles teintes diaprées. Les combinaisons de couleurs arrivent rarement à une grande beauté, bien qu'elles étonnent et éblouissent souvent l'observateur par leur hardiesse et par leur mépris complet de toutes les lois connues de la composition chromatique. L'éclat et la pureté de ces teintes sont si grands, et elles sont jetées par une main si habile, que ces jeux capricieux réussissent pour ainsi dire toujours; et c'est seulement lorsque nous voulons copier ces modèles étranges que nous nous rendons bien compte de leur bizarrerie, et de leurs défauts réels au point de vue de l'art.

Les cristaux d'acide tartrique présentent des phénomènes tout à fait différents : ici les dessins sont riches et souvent très beaux; les couleurs sont bien graduées, touchées et retouchées; elles forment des figures délicates et compliquées qui semblent l'œuvre d'une main patiente, et répètent ou contrarient les motifs dominants de la composition générale. Quelquefois nous avons une masse d'une forme merveilleuse, rayonnant en lignes courbes dans tout le champ visuel, avec une teinte gris tendre et jaune pâle, et présentant çà et là des taches comme celles qui ornent la queue du paon, mais aussi brillantes que des charbons ardents, le tout rehaussé de nuances très sombres de vert-olive, de brun foncé et de gris. Telle est l'apparence que présentent les cristaux minces; mais, si leur épaisseur augmente, on voit augmenter aussi l'éclat des couleurs, toujours rehaussées par de grandes masses de teintes foncées. Gradations bien ménagées, contrastes énergiques, couleurs brillantes et couleurs pâles, ombres noires et formes merveilleuses, tout s'unit pour donner à ces tableaux un charme tout particulier qui ne se perd pas tout entier, même dans les copies qu'on en fait avec les couleurs ordinaires.

Le sucre ordinaire, lorsqu'on lui laisse le temps de cristalliser lentement, donne des figures assez semblables à celles que nous venons de décrire, mais dont le dessin est plus régulier et moins intéressant. Les cristaux de nitrate de potasse présentent encore des images différentes de celles qui précèdent : c'est une multitude de fils lumineux de teintes délicates, ce sont des pourpres et des verts dorés ou des verts olive mats et des carmins dont le tissu est si serré qu'ils produisent presque une teinte neutre, laquelle devient tout à coup brillante et montre des combinaisons de rouge pourpré et de vert, mouchetées çà et là d'outremer pur. Ces fils lumineux teintés sont souvent disposés avec autant de régularité que si un ouvrier avait voulu en faire un tissu merveilleux semblable au cachemire, puis avait tout à coup laissé là et oublié à la fois la trame et la chaîne.

Il serait inutile de multiplier ici ces descriptions; chaque sel a ses caractères particuliers et présente des tableaux différents : l'un brille comme une collection de pierres précieuses colorées à facettes polies ; l'autre semble hérissé de piques d'or comme les bataillons de deux armées sur le point d'en venir aux mains; un troisième fait penser à une végétation abondante faite d'or et de pierreries, et noyée dans les teintes du soleil couchant. Les peintres qui voient ces tableaux pour la première fois sont généralement frappés de leur beauté

étrange, et affirment souvent que l'étendue de leurs conceptions de couleurs s'en trouve agrandie. Pour nous, nous avons plus d'une fois pensé que l'étude de quelques-unes de ces combinaisons pourrait quelquefois rendre service aux décorateurs, en leur donnant l'idée de dispositions nouvelles mises à leur portée par la nature.

Lorsque la lumière polarisée traverse des cristaux dans la direction de leurs axes optiques, des phénomènes d'un genre différent se produisent. Ces phénomènes furent découverts en 1813 par Brewster, et leur intérêt scientifique, joint à leur beauté, leur a valu depuis lors l'attention spéciale des physiciens et même des mathématiciens. Une série de couleurs semblables à celles de l'arc-en-ciel, disposées en cercles concentriques, se montrent sur un fond blanc; une croix gris foncé coupe les cercles colorés, et, après les avoir partagés en quatre parties égales, va se perdre sur le fond blanc qui les entoure. Si l'on change un peu l'ajustement de l'appareil, la croix grise devient blanche, et alors les anneaux prennent les teintes complémentaires. Certains cristaux fournissent deux séries d'anneaux; la croix sombre est commune aux deux, ou bien elle se déforme au point de n'être plus reconnaissable.

Ces phénomènes ont été considérés par un grand nombre de physiciens comme ayant une beauté extraordinaire; mais nous sommes portés à croire que dans ce cas leur jugement a obéi à d'autres considérations que celles de simple beauté. La rareté du phénomène, la difficulté de le manifester, la liste brillante des noms qui s'y rattachent, ainsi que les indications qu'il fournit sur la constitution moléculaire des cristaux, tout contribue à fausser le jugement et à influencer sérieusement sa décision suprême. En réalité, la régularité des figures et la répétition constante des teintes de l'arc-en-ciel dans le même ordre, qui est celui des couleurs du spectre, rendent impossibles les charmantes combinaisons de couleurs que présentent un grand nombre de sels quand on les fait simplement cristalliser sur une lame de verre. Au point de vue de la beauté, la croix et les anneaux ne peuvent un seul instant se comparer aux images que présentent les cristaux d'acide tartrique.

Le verre qui a été chauffé, puis brusquement refroidi, ou encore lorsqu'il est soumis à une pression énergique, offre des phénomènes de couleur tout à fait analogues aux précédents; nous avons là, en quelque sorte, une série de croix et d'anneaux déformés qui sont quelquefois plus favorables à la production d'effets chromatiques que ne peuvent l'être les figures normales.

Dans la vie ordinaire on ne voit jamais les couleurs de polarisation; l'œil ne peut pénétrer sans le secours d'un instrument dans leur domaine enchanté. Ne le regrettons pas; la pureté des teintes et la hardiesse de leurs combinaisons les font paraître étranges et peu naturelles à des yeux habitués aux couleurs bien plus sombres d'un monde dans lequel le travail et la peine jouent un si grand rôle. Les couleurs des fleurs elles-mêmes semblent tristes, lorsqu'on les compare à celles de la polarisation.

Les couleurs dont nous venons de parler se produisent d'une manière toute particulière; l'explication complète de cette production est longue et pénible, et n'a pour nous aucun intérêt particulier. Pour en donner une idée générale, nous pouvons dire que la lumière blanche subit une action qui supprime un de ses éléments; il en résulte alors une lumière colorée. Par exemple, si nous enlevons à la lumière blanche ses rayons jaunes, les rayons restants produiront sur nous la sensation du bleu; si nous retranchons les rayons verts, la lumière restante paraîtra pourpre. On comprendra mieux la raison de ces faits après avoir étudié les chapitres XI et XII. Quand on veut supprimer ainsi certains rayons, on se sert d'un appareil de polarisation; dès qu'on enlève les cristaux de cet appareil, la couleur disparaît sur-le-champ. Or il se trouve qu'il existe une classe d'objets naturels qui peuvent présenter exactement les mêmes teintes sans l'intervention d'aucun appareil : tous les objets qui remplissent une certaine condition peuvent être rangés dans cette classe, et la condition requise est simplement celle d'une très faible épaisseur. Des couches très minces d'eau, d'air, de verre, d'oxydes métalliques, de substances organiques, en un mot de presque toute espèce de choses, présentent ces couleurs. L'exemple le plus familier de cette action nous est fourni par une bulle de savon. Lorsqu'elle commence à se former, elle est incolore et parfaitement transparente; sa surface sphérique réfléchit une image déformée de la fenêtre devant laquelle on opère, avec ses traverses toutes courbées, mais on n'y voit de teintes colorées que quand elle a un peu grossi [1]. Alors de faibles teintes vertes et roses commencent à apparaître et semblent se mêler péniblement,

1. Il n'est pas rare de rencontrer des tableaux dans lesquels le peintre a représenté une bulle de savon réfléchissant les traverses d'une fenêtre, quoiqu'aucun objet de ce genre ne pût être visible. Un de nos amis nous a cité quatre exemples de tableaux dont les auteurs avaient représenté des traverses de fenêtre, au lieu de ciel et de paysage, sur des bulles de savon qui se trouvaient en plein air.

comme si on les agitait sans cesse. A mesure que la bulle de savon grossit et que ses parois s'amincissent, les couleurs deviennent plus brillantes, et une série de magnifiques teintes bleues et orangées, pourpres, jaunes et vertes remplacent les couleurs pâles qui ont marqué les premières phases du phénomène, et, par leurs changements et leur mouvement perpétuel, fascinent l'observateur. Si la bulle de savon a le rare bonheur de durer assez longtemps, sa partie supérieure commence à montrer une série différente de teintes; le jaune fauve, dont nous avons déjà eu occasion de parler, apparaît en plaques irrégulières qui tournoient au milieu des teintes plus brillantes; ceci indique que l'amincissement des parois a presque atteint ses limites extrêmes. Enfin, si par une chance tout à fait extraordinaire la bulle atteint la vieillesse la plus avancée, elle présente des teintes blanches et grises assez pâles, et alors elle ne manque pas de crever. Une bulle de savon qui a fourni toute sa carrière offre toutes les couleurs que peut donner la polarisation. Sa pellicule mince tamise la lumière blanche, et son action donne les mêmes résultats que la polarisation : certains rayons sont supprimés, et, nous l'avons déjà vu, la lumière blanche privée d'un de ses éléments donne de la lumière colorée. Cette élimination s'opère par l'interférence des ondes lumineuses; aussi les couleurs produites de cette façon sont-elles appelées couleurs d'interférence. Les couleurs de polarisation sont également en réalité des couleurs d'interférence, mais on ne leur donne pas ordinairement ce nom. De tout ce que nous avons dit il résulte que les couleurs produites par des couches très minces de quelque substance, ou par des molécules très divisées, contiennent toujours une certaine quantité de lumière blanche, et par conséquent ne peuvent tout à fait rivaliser sous le rapport de la pureté ou de l'intensité avec les couleurs du spectre.

Nous l'avons déjà dit, les couleurs de polarisation ne se trouvent que dans les laboratoires de physique. D'un autre côté, la nature ne montre les couleurs d'interférence que d'une main avare, en petites quantités et comme des raretés. Elle s'en sert comme de bijoux merveilleux pour orner le plumage de certains oiseaux; elle les prodigue au paon ordinaire, dont la gorge et la queue, exposées à la lumière du soleil, déploient des teintes d'un éclat et d'un effet éblouissants qui font paraître pâles et ternes tous nos bijoux. En contemplant ces couleurs merveilleuses, ou encore celles du petit bijou ailé que l'on appelle l'oiseau-mouche, une chose nous frappe : c'est qu'elles ont un éclat

vraiment métallique, que nous essayons en vain de reproduire au moyen de nos couleurs les plus brillantes. Pour lutter contre elles avec succès, nous sommes forcés de remplacer le papier blanc par une feuille d'argent, et de la recouvrir des vernis les plus purs et les plus transparents. Cette apparence d'éclat métallique vient de ce qu'une grande quantité de lumière colorée n'est mêlée que d'une faible proportion de lumière blanche, la plus grande partie de celle-ci se trouvant absorbée par la couleur foncée contenue dans l'intérieur des plumes. Lorsque cette matière vient à manquer, nous avons toujours de la couleur; mais, comme elle est mêlée d'une quantité considérable de lumière blanche réfléchie, elle présente simplement un aspect semblable à celui de la nacre de perle.

Les couleurs dont nous nous occupons en ce moment offrent encore un autre caractère particulier, qui les distingue d'une façon plus complète de celles fournies par les matières colorantes : je veux parler de leur variabilité. Comme nous l'avons déjà dit, ces couleurs sont produites par l'interférence des rayons lumineux que réfléchissent les pellicules minces; la nature de cette interférence dépend en partie de l'angle sous lequel s'opère la réflexion, de sorte que, si nous faisons tourner dans notre main une plume de paon, nous en verrons la couleur changer sans cesse. Il en est de même des teintes d'une bulle de savon et de toutes les couleurs d'interférence en général : les teintes changent selon la position de l'œil; à mesure qu'on les regarde sous une incidence plus oblique, elles varient dans le même ordre que les couleurs du spectre, et passent du rouge à l'orangé, au jaune, et ainsi de suite.

Les brillantes couleurs métalliques que présentent un grand nombre d'insectes, et particulièrement les coléoptères, appartiennent encore à cette catégorie, ainsi que les nuances bleu d'acier et vert bouteille, moins éclatantes que les précédentes, que nous offrent bien des espèces de mouches. Ce fait est si général qu'il nous fait penser que ces insectes ne sont pas dépourvus d'un sens de la couleur que les teintes éclatantes peuvent satisfaire. Si nous pénétrons dans le domaine des eaux, nous en trouvons les habitants revêtus de belles couleurs qui ont en général la même origine, car les belles teintes nacrées qu'ils étalent aux yeux dépendent toutes de l'interférence de la lumière. Il en est encore de même des teintes irisées qui ornent si souvent l'extérieur et même l'intérieur des coquillages. Mais il faut avouer franchement que dans ce cas les couleurs, malgré toute leur beauté, peu-

vent à peine être une source de plaisir pour les habitants de ces coquillages ou pour leurs amis.

Si nous quittons le monde des êtres vivants, nous trouvons encore des couleurs d'interférence qui se montrent assez souvent, mais d'une manière peu frappante, sur des vitres un peu vieilles ; il semble que la pluie ait enlevé un peu de leur élément alcalin, et qu'il se soit formé avec le temps une mince pellicule de silice capable de produire ces teintes. Sur le verre antique qui est resté longtemps enfoui sous terre, cette action est portée bien plus loin, et quelquefois la plaque ou le vase tout entier tend à se séparer en lamelles. Dans ce cas, grâce aux réflexions successives sur un grand nombre de couches, la lumière qui arrive à l'œil est très brillante, et les couleurs en sont fort vives. Le cramoisi, l'azur et l'or s'y trouvent réunis ; le bleu passe au pourpre ou au rouge le plus éclatant ; la teinte du rubis contraste avec celle de l'émeraude : le moindre déplacement de l'œil, le moindre changement de direction de la lumière produit un effet nouveau et frappant. Quelquefois de larges nappes colorées des teintes les plus tendres de la nacre, se fondant et se mêlant avec une délicatesse extrême, remplacent les couleurs splendides du prisme et fascinent l'observateur par leur doux éclat.

Les couleurs irisées d'un grand nombre de minéraux rentrent dans la même catégorie générale ; nous en citerons comme exemples certains feldspaths. Les teintes brillantes de l'anthracite ont encore la même origine ; les pellicules bleues que l'on produit souvent à dessein sur l'acier sont dues à des couches minces d'oxyde de fer qui absorbent les rayons jaunes. Nous pourrions facilement multiplier ces exemples, mais nous nous contenterons de ceux-ci pour le moment.

CHAPITRE V

LES COULEURS DES MILIEUX OPALESCENTS

Si l'on fait tomber un rayon de lumière blanche sur de l'eau contenue dans un vase de verre incolore et limpide, une partie de cette lumière se réfléchira sur la surface du liquide, et une autre partie traversera l'eau et viendra émerger dans l'air. Ces faits bien connus sont représentés par la figure 12. Un œil placé en E verra que la lumière réfléchie est blanche, et la lumière transmise paraîtra blanche aussi à un œil situé en O. Mais alors, si l'on ajoute à l'eau un peu de lait, on verra se produire un changement remarquable : la lumière se réfléchira comme auparavant sur la surface de l'eau pour arriver à l'œil placé en E, et cette lumière venue de la surface sera toujours blanche ; mais les petits globules de lait qui se trouvent sous la surface et dans toute l'étendue du liquide vont aussi réfléchir de la lumière en E ; cette lumière sera bleuâtre. Cette expérience montre donc que les petits globules en suspension dans un liquide ont le pouvoir de réfléchir de la lumière d'une teinte bleuâtre. La figure 12 représente la lumière comme réfléchie dans une seule direction ; mais, lorsqu'on ajoute à l'eau les globules de lait, ils dispersent en tous sens la lumière réfléchie, de sorte qu'un œil occupant n'importe quelle position au-dessus du liquide aperçoit cette apparence bleuâtre.

D'autre part, après l'addition du lait, la lumière arrivant en O (fig. 12), qui a traversé le liquide laiteux, a pris une teinte jaunâtre. Cela nous montre que de très petites molécules en suspension dans un liquide ont la propriété de diviser la lumière blanche en deux portions, l'une jaunâtre et l'autre bleuâtre. Si l'on ajoute à l'eau une plus grande quantité de lait, de la lumière blanche viendra se mêler à la lumière bleuâtre réfléchie, et finira par la noyer de manière à la rendre presque imperceptible ; en même temps, à mesure que la

quantité de lait augmentera, la couleur de la lumière transmise passera du jaune à l'orangé, puis au rouge, et finira par disparaître, le liquide étant devenu à la fin tellement opaque qu'il cesse tout à fait de transmettre la lumière.

Cette action très curieuse n'est pas limitée aux mélanges de lait et d'eau, mais elle se manifeste toutes les fois que des molécules très petites sont en suspension dans un milieu composé d'une autre substance. Si l'on verse dans l'eau une dissolution d'une résine dans



Fig. 12. — Réflexion et transmission de la lumière par l'eau.

l'alcool, en ayant soin d'agiter constamment le mélange, des parcelles très petites de résine restent en suspension dans le liquide, et donnent naissance aux phénomènes que nous venons de décrire. Brücke fait dissoudre une partie de mastic dans quatre-vingt-sept parties d'alcool, et verse ensuite cette dissolution dans l'eau, en remuant constamment. Le liquide ainsi préparé donne à la lumière réfléchie une teinte délicate bleu de ciel, et à la lumière transmise une teinte jaune ou rouge, suivant l'épaisseur de la couche traversée. Les particules de résine en suspension sont très fines, et restent mélangées à l'eau

pendant plusieurs mois ; elles sont souvent si petites qu'elles échappent aux microscopes les plus puissants.

Certaines espèces de verre qui servent à l'ornementation jouissent de la même propriété : elles paraissent d'un blanc bleuâtre à la lumière réfléchie, mais colorent en rouge ou en rouge orangé la lumière qui les traverse. Les belles teintes de l'opale ont probablement la même origine, ainsi que la couleur laiteuse bleuâtre qui caractérise plusieurs autres variétés de quartz.

Ce ne sont pas seulement les liquides et les solides qui présentent le phénomène de l'opalescence ; nous le voyons aussi quelquefois se manifester autre part ; par exemple, une mince colonne de fumée qui s'élève d'un feu de bois réfléchit une quantité appréciable de lumière bleue, tandis que la lumière solaire qui la traverse revêt une teinte jaune brunâtre, qui peut même être rouge si la fumée est assez épaisse.

Tous ces phénomènes sont probablement dus à une interférence de la lumière, déterminée par la présence des petites particules matérielles; les ondes les plus courtes se trouvent réfléchies plus abondamment que les plus longues, tandis que celles-ci, de leur côté, sont transmises en plus grande abondance. Une explication détaillée de la manière dont l'interférence se produit serait étrangère au but de cet ouvrage ; nous passons donc à la considération des aspects plus pratiques de cette question [1].

Il est bon d'indiquer, en premier lieu, certaines conditions qui sont favorables moins à la formation qu'à la perception des teintes dont il s'agit ; par exemple, on reconnaîtra que la teinte bleue, dans les expériences sur les liquides, se voit mieux quand on pose le vase de verre sur un fond noir. Cette précaution empêche la lumière bleue réfléchie de recevoir des rayons transmis directement de dessous le récipient. Et même la présence ou l'absence d'un fond sombre peut suffire pour que la teinte perçue par l'œil passe du jaune au bleu, les autres conditions restant toutes les mêmes. Par exemple, la figure 13 nous montre une mince couche de fumée dont une partie est vue sur un fond sombre, et l'autre partie sur un ciel couvert de nuages blancs : la partie inférieure paraît bleue, par réflexion ; dans la partie supérieure, au contraire, cette teinte est dominée par la plus grande intensité de la lumière transmise, qui est brun jaunâtre. D'une ma-

1. Voyez E. Brücke, dans les *Annalen* de Poggendorff, vol. 88, p. 363; aussi la *Farbenlehre* de Bezold, p. 89.

nière générale, le rayon réfléchi et le rayon transmis sont tous deux présents ; les fonds noirs sont favorables au premier, et les fonds lumineux au second.

Si l'on étend une couche mince de couleur blanche, du blanc de céruse ou du blanc de zinc par exemple, sur un fond noir ou sombre, cette couche présentera une teinte bleuâtre bien marquée, pour les raisons que nous venons d'exposer. Si l'on retouche avec du blanc de zinc préparé pour l'aquarelle un dessin fait sur papier sombre, les endroits retouchés paraîtront bleuâtres et durs, à moins qu'on n'ait grand soin d'empêcher la couleur blanche d'être translucide ; le seul moyen d'arriver à éviter cet effet désagréable est de rendre chaque retouche épaisse et tout à fait opaque. Pour produire de tels effets, il n'est pas même nécessaire de mettre la couleur blanche sur



Fig. 13. — La fumée paraît bleue sur un fond sombre et brune sur un fond clair.

un fond sombre ; le blanc de céruse mélangé avec n'importe laquelle des couleurs noires ordinaires donne un gris qui n'est pas pur, mais bleuâtre. Cette teinte est très marquée pour le noir préparé avec du liège; aussi ce noir est-il quelquefois appelé « l'outremer des pauvres ». Si l'on ajoute du noir à une couleur jaune, ce mélange n'a pas seulement pour effet de rendre le jaune plus foncé, comme on pourrait s'y attendre, mais il le change en vert olive. Cela a surtout lieu pour les matières colorantes dont la teinte se rapproche du jaune pur, comme la gomme-gutte et l'auréoline; le moindre mélange de couleur noire les fait tirer sur le vert. Si au contraire nous combinons ce noir et ce blanc, ou ce noir et ce jaune par la méthode des disques tournants (voir le chap. X), nous obtenons un gris pur ou un jaune plus foncé, ce qui montre que la nuance bleue n'est pas, comme on le sup-

pose souvent, inhérente à la matière colorante noire, mais bien un accident dû à la manière dont on l'emploie. Les cas que nous venons de citer sont des exemples frappants de l'application de ces principes à la peinture ; mais toute la théorie de la peinture à l'huile en tient compte d'une manière plus subtile, et elle arrive à éviter les difficultés qui pourraient en résulter, ou, quoique plus rarement, à en tirer parti. Il est peut-être inutile d'ajouter que le ton un peu bleuâtre des esquisses faites avec les couleurs tout à fait incorporées à l'huile, ou aussi des fresques, est dû aux mêmes causes.

Après avoir indiqué l'influence que cette action optique particulière exerce sur un tableau naissant, nous passerons à quelques-uns de ses effets lorsque le tableau est devenu vieux. Tout le monde sait que les vieilles peintures à l'huile finissent souvent par se couvrir plus ou moins de ce qui semble être une couche de terre grise ou gris bleuâtre, laquelle, s'étendant particulièrement sur les parties les plus foncées, les obscurcit de manière à noyer tous les détails et à perdre entièrem en le travail du peintre. Un examen attentif a prouvé que ce trouble est causé par un fendillement général du tableau, qui semble produire à peu près le même effet que les mélanges cités plus haut, de sorte que celui qui regarde le tableau semble le voir à travers un brouillard un peu épais. On peut remédier dans une certaine mesure à cet inconvénient en comblant avec un vernis ces petites fentes invisibles ; mais il vaut mieux encore avoir recours au « procédé de régénération » de Pettenkofer. Un jour, ce célèbre chimiste, voulant couvrir un verre plein d'alcool chaud, ne trouva sous sa main pour cela qu'un vieux morceau de toile cirée dont le dessin était en grande partie effacé. En enlevant ce couvercle improvisé, quelques heures plus tard, il fut surpris de voir que la partie qui avait été exposée aux vapeurs d'alcool se trouvait revivifiée et avait repris son dessin primitif. Pettenkofer reconnut bientôt que les vapeurs avaient ramolli la matière colorante et fait rejoindre les grains séparés. Des expériences faites sur de vieilles peintures à l'huile donnèrent les mêmes résultats, et ce procédé est maintenant employé dans quelques-unes des plus grandes galeries de tableaux de l'Europe.

Ces teintes particulières se remarquent sur bien d'autres objets encore; nous citerons parmi ceux qui n'ont qu'une importance secondaire la teinte gris bleuâtre ou gris verdâtre qui marque la direction des veines sous la peau ; la couleur bleue ou verdâtre de l'œil de l'homme doit aussi sa teinte à la même cause. Dans ces deux cas, une

membrane opalescente recouvre un fond sombre, et la couleur se produit comme dans les expériences que nous avons décrites au commencement de ce chapitre. Les yeux bleus ne contiennent en réalité aucune matière colorante bleue.

Mais c'est le ciel qui nous présente ce genre de teintes sur la plus grande échelle et avec la plus grande perfection. Notre atmosphère, même quand elle est parfaitement limpide, contient en suspension un nombre énorme de parcelles matérielles d'une extrême petitesse, qui ne tombent jamais à terre et que la pluie ne peut entraîner dans sa chute. Quand ces molécules sont éclairées par les rayons solaires, elles réfléchissent de la lumière blanche mélangée d'une certaine proportion de bleu, et ce bleu est vu sur un fond noir, qui n'est autre chose que l'espace vide dans lequel le globe est suspendu. De là vient la couleur bleue du ciel. Quand le ciel est pur, on peut suivre cette teinte jusqu'assez près du soleil, c'est-à-dire jusqu'à ce que les yeux soient éblouis par l'éclat de la lumière. L'examen au spectroscope des parties du ciel où le bleu est le plus foncé y révèle la présence d'une grande quantité de lumière blanche; ainsi ce bleu est bien loin d'être pur ou saturé, fait que les jeunes peintres de paysage sont bientôt forcés de reconnaitre. Lorsque le ciel est sans nuages, tant que le soleil est à une grande distance de l'horizon, la couleur jaune qui accompagne le passage de la lumière à travers un milieu opalescent ne se remarque pas beaucoup; mais à mesure que le soleil descend, ses rayons traversent une épaisseur d'atmosphère toujours croissante et rencontrent un plus grand nombre de petites molécules en suspension, de sorte que vers le soir la lumière transmise prend une teinte jaune ou plutôt jaune orangé bien marquée.

Après avoir ainsi rapidement considéré la production des teintes ordinaires du ciel, examinons les divers aspects que prend un paysage sous l'influence des petites molécules en suspension dans l'atmosphère. Ces molécules réfléchissent nécessairement de la lumière dans la direction de l'observateur, et cette lumière, s'ajoutant à celle qui vient régulièrement des objets contenus dans le paysage, produit ainsi des modifications importantes dans leur apparence. La couche d'air très épaisse qui sépare l'observateur des montagnes les plus éloignées, enverra à l'œil une quantité considérable de lumière d'un bleu blanchâtre qui ne différera guère de la teinte du ciel. Cette lumière noiera complètement la lumière un peu faible réfléchie par les parties de la montagne qui se trouvent dans l'ombre, de sorte

qu'en définitive toutes les ombres de la montagne seront représentées par des teintes bleu de ciel plus ou moins pures, lesquelles seront bien plus lumineuses et plus brillantes que ne l'étaient les ombres primitives. Ces masses bleuâtres de formes étranges ne laissent voir aucun des détails de la montagne. D'un autre côté, les parties des montagnes qui reçoivent en plein les rayons du soleil continueront à envoyer de la lumière à l'œil de l'observateur à travers la brume, et leur teinte dominante sera jaune, ou orangée, ou quelque chose d'approchant. Peu de détails seront visibles, et les couleurs réelles ou locales de la montagne ne paraîtront pas ou pourront tout au plus se fondre avec les teintes douces et chaudes dues au milieu ambiant. En un mot, le contraste entre la lumière et l'ombre se trouvera énormément diminué, de sorte que la luminosité générale de la montagne ne sera guère moindre que celle du ciel lui-même, et que sa couleur sera représentée surtout par des teintes de même origine et de même nature que celles du ciel. Si nous nous rapprochons de la montagne, ces effets commencent à diminuer peu à peu : nous voyons apparaître sur les parties éclairées des verts délicats, des gris variés pleins de douceur, et en même temps les ombres perdent leur bleu céleste, s'assombrissent et deviennent d'un gris bleuâtre. Plus tard enfin, toutes les parties qui reçoivent les rayons du soleil déploient leurs teintes locales, un peu adoucies toutefois, et la lumière colorée qui vient des ombres commence à se faire sentir, se mêle à la lumière bleue réfléchie, et produit des gris pourpres délicats, des gris verdâtres et mille autres teintes indéfinissables. Les pins éclairés par le soleil seront vert olive ou jaune verdâtre adouci, tandis que ceux qui se trouvent dans l'ombre seront d'un gris pur ou d'un gris bleuâtre sans aucune trace de vert. Ces effets sont moins reconnaissables sur les objets plus voisins, et les rapports naturels entre la lumière et l'ombre se maintiennent de plus en plus, de sorte que leur contraste s'accroît progressivement à mesure que nous reportons nos yeux des objets éloignés vers ceux qui sont plus voisins. Tous ces effets sont nettement visibles toutes les fois que le jour a une sérénité ordinaire ; il va sans dire qu'ils se modifient avec l'état de l'atmosphère : dès que celle-ci devient brumeuse, la lumière bleue réfléchie passe au gris ; la lumière transmise est moins altérée.

Vers le soir, quand le soleil est bas, ses rayons traversent des couches atmosphériques très épaisses, et l'on voit se produire des effets chromatiques vraiment merveilleux. Près du soleil, la lumière

transmise est jaunâtre, mais si brillante que sa couleur n'est pas facile à discerner; à droite et à gauche, la couleur devient orangée, souvent rouge, et, à mesure qu'on s'éloigne du soleil, passe au gris pourpré, au bleu grisâtre et enfin au bleu de ciel. Les teintes chaudes viennent principalement de la lumière transmise; les teintes froides, de la lumière réfléchie; et les teintes neutres, du mélange de ces deux lumières. Quand le soleil se couche dans un ciel sans nuages, on voit au-dessus de cet astre une transition assez régulière des couleurs dues à la lumière transmise à celles que produit la lumière réfléchie. A mesure que le soleil descend, ses rayons rencontrent une masse plus considérable de molécules en suspension, et les teintes chaudes dont nous venons de parler tendent à se rapprocher de l'extrémité rouge du spectre, et prennent aussi une intensité plus grande. La présence de nuages rompt la symétrie de ces compositions chromatiques naturelles, et donne naissance aux effets de couleurs les plus splendides que nous connaissions. Le paysage lui-même s'harmonise avec le ciel, et, dans le voisinage du soleil, prend une teinte orangée ou même rouge; à de plus grandes distances, ses teintes froides se réchauffent, et les verts eux-mêmes se transforment en teintes olive ou jaunâtres. En même temps, les ombres s'allongent considérablement et partagent ainsi le tableau en grandes masses fort importantes, qui donnent de la noblesse et de la beauté au paysage même le plus ordinaire.

Voici la série complète des teintes du soleil couchant, en allant de la lumière la plus brillante à l'ombre la plus foncée :

1. Jaune.	3. Rouge.	5. Bleu violet.
2. Orangé.	4. Pourpre.	6. Bleu gris.

Cette série, que l'on peut appeler normale, est souvent interrompue par l'absence d'une ou de plusieurs des teintes intermédiaires; quelquefois elle ne commence qu'au rouge ou même au pourpre.

CHAPITRE VI

PRODUCTION DES COULEURS PAR FLUORESCENCE ET PHOSPORESCENCE

Dans tous les cas que nous avons examinés jusqu'ici, la couleur était produite ou par la décomposition de la lumière blanche, ou par un procédé de soustraction, comme dans les exemples cités au chapitre précédent. Mais la découverte tout à fait surprenante de Stokes a prouvé que les couleurs peuvent être produites d'une manière nouvelle et entièrement différente. Si, dans une chambre où règne une obscurité complète, on fait tomber le violet pur du spectre sur une plaque ou un verre à vin fait de verre d'uranium, ces objets ne renverront pas à l'œil de la lumière violette, comme on pourrait s'y attendre, mais brilleront d'une lumière d'un vert éclatant, et sembleront presque, dans l'obscurité, être tout à coup devenus lumineux par eux-mêmes. Cette sorte de verre possède donc la propriété extraordinaire de changer entièrement la couleur de la lumière qu'elle reçoit, et de faire prendre à cette lumière une teinte complètement différente. Mais, comme la couleur dépend de la longueur d'onde, nous sommes conduits à nous demander si cette dernière propriété du rayon lumineux primitif est aussi affectée par le verre d'uranium. Stokes a prouvé d'une manière concluante qu'il en est ainsi, et que dans toutes les expériences de ce genre la longueur de l'onde lumineuse s'accroît. Il paraîtrait que les ondes lumineuses agissent sur les atomes qui composent (ou qui entourent) les molécules du verre, et les font entrer en vibration ; ces atomes continuent à vibrer pendant quelque temps, *avec une vitesse choisie par eux-mêmes*, laquelle est toujours moindre que celle des ondes lumineuses qui ont donné la première impulsion. Ces atomes vibrants jouent le rôle de centres lumineux et communiquent des vibrations à l'éther extérieur. De là la

lumière verte qui vient frapper l'œil. Cette action n'a pas lieu seulement à la surface du verre, mais aussi à une certaine profondeur dans l'intérieur de cette substance, de sorte que, si l'on fait l'expérience avec un cube épais de verre d'uranium, ce cube prendra un aspect laiteux et presque opaque, par suite du flot abondant de lumière verte et douce qu'il émet dans toutes les directions. Il n'est pas même nécessaire de prendre pour source lumineuse le violet pur du spectre ; la lumière du soleil filtrée à travers un verre bleu de cobalt fait tout aussi bien, et donne un changement bien net du bleu violet au vert laiteux qui est tout aussi frappant.

Lorsqu'on l'expose à la lumière ordinaire du jour, le verre d'uranium lance dans toutes les directions une lumière vert bleuâtre, qui est due à la cause que nous venons d'indiquer ; mais la lumière qui le traverse prend simplement une teinte jaune. Ces deux teintes se manifestent sous l'influence de la lumière du jour, et leur combinaison donne aux objets qui sont faits de ce verre une apparence particulière fort agréable. La lumière des bougies ou celle du gaz ne donne que peu de rayons bleus et violets, aussi cet éclairage prive-t-il entièrement le verre d'uranium de son charme, et fait-il prendre aux objets qui en sont faits une teinte jaunâtre terne qui n'est ni frappante ni agréable. Un grand nombre de sels possèdent la même propriété à un assez haut degré : un des plus connus est le platino-cyanure de barium, qui donne des effets semblables à ceux que nous venons de décrire. Le thallène, substance organique tirée du goudron de houille, et que Morton a décrite, doit aussi être classé avec le verre d'uranium [1]. Des dessins faits avec cette substance sur un papier blanc paraissent jaunâtres à la lumière du jour ; mais, si on les expose à une lumière violette ou bleue, ils prennent tout à coup un grand éclat et lancent dans toutes les directions une lumière verdâtre très vive. Un grand nombre de liquides jouissent de la même propriété, et donnent des couleurs différentes sous l'influence de la lumière violette ; mais, pour la description de ces phénomènes, nous sommes forcé de renvoyer le lecteur à l'ouvrage de M. le docteur Pisko sur la fluorescence de la lumière [2].

Avant d'abandonner ce sujet, nous pouvons ajouter que la phosphorescence aussi donne souvent naissance à des couleurs plus ou moins semblables à celles de la fluorescence. Si l'on met dans une

1. Voyez le *Chemical News* de décembre 1872.
2. *Die Fluorescenz des Lichtes*, par F.-J. Pisko, Vienne.

chambre tout à fait obscure des tubes pleins de sulfure de barium, de strontium, de calcium, etc., et qu'on les soumette pendant un instant à l'action d'un rayon solaire, de la lumière électrique, ou de celle d'un fil de magnésium incandescent, ils donneront ensuite pendant quelques minutes une série de teintes charmantes. Les uns brillent d'une lueur violette, les autres d'une lumière orangée ou jaune ; on voit aussi paraître des bleus tendres, ou encore des teintes rouges, qui, dans l'obscurité, font l'effet de charbons ardents. Toutes ces teintes sont très belles, bien qu'évidemment il soit impossible de les appliquer directement à un but artistique.

CHAPITRE VII

PRODUCTION DES COULEURS PAR VOIE D'ABSORPTION

Les couleurs produites par la dispersion, l'interférence et la polarisation de la lumière offrent un grand intérêt à un point de vue purement scientifique, et sont encore précieuses parce qu'elles nous aident à former une théorie exacte de la couleur; mais c'est aux phénomènes de l'absorption que sont presque entièrement dues les couleurs des objets *ordinaires*. Les couleurs dont les peintres se servent, les teintures qu'emploient les fabricants, la matière colorante des fleurs, des arbres, des rochers et de l'eau, se rattachent toutes à l'absorption. Commençons l'étude de ce sujet par celle d'un fragment de verre coloré. Quand nous posons ce verre à plat sur un morceau de drap noir, en l'exposant à la lumière ordinaire du jour, nous voyons qu'il réfléchit la lumière vers l'œil tout comme un morceau de verre à vitre ordinaire le ferait dans les mêmes circonstances, et que cette lumière n'est pas colorée, mais blanche. Dans cette expérience, les rayons lumineux qui arrivent à l'œil ont été réfléchis uniquement par la surface de la plaque de verre, les rayons qui pénètrent dans l'intérieur de la substance se trouvant absorbés par le drap noir placé dessous, et n'arrivant pas à l'œil. Si nous soulevons alors le verre, de manière à permettre à la lumière du jour de le traverser et de venir frapper l'œil, nous trouvons qu'elle s'est colorée en rouge rubis. La lumière donnée par la flamme d'une bougie ou d'un bec de gaz est modifiée de la même façon, et un rayon de soleil qui traverse la plaque de verre va tomber sur la muraille opposée en y formant un point lumineux d'un rouge intense. Notre première impression, qui est toute naturelle, c'est que le verre coloré a la propriété d'altérer la qualité de la lumière; que la lumière blanche est, de façon ou d'autre, réellement transmutée en lumière rouge. Telle

semble être l'impression générale de tous ceux qui n'ont pas examiné la question à fond. Nous avons vu, dans le chapitre II, qu'avec un prisme nous pouvons analyser la lumière blanche et assortir d'après leur longueur les ondes dont elle se compose ; nous savons que la sensation produite sur l'œil par ces ondes varie avec leur longueur, et que les plus longues donnent du rouge, tandis que les plus courtes donnent du violet. Le prisme va encore nous servir à étudier la ques-



Fig. 14. — Verre rouge mis sur une fente découpée dans une carte noire.

tion qui nous occupe en ce moment. Préparons un écran de carton noir, et pratiquons une fente étroite en son centre ; fixons sur cette fente un morceau de verre coloré, comme le montre la figure 14. Si maintenant nous mettons ce petit appareil devant une fenêtre, il ne sera pas difficile de faire en sorte que de la lumière blanche venant d'un nuage tombe sur la fente et traverse le verre coloré ; de là,



Fig. 15. — Spectre transmis à travers un verre rouge.

cette lumière arrivera sur le prisme qui doit l'analyser. Lorsque nous faisons cette expérience, nous reconnaissons qu'elle donne le résultat représenté par la figure 15 : le prisme nous avertit que le rayon transmis se compose principalement de lumière rouge ; il contient aussi un peu de lumière orangée. Mais cette expérience peut être rendue plus instructive, si nous ne couvrons avec la plaque de verre que la moitié de la fente. En la répétant avec cette modification, nous

obtenons côte à côte l'analyse de la lumière blanche qui vient directement du nuage, et celle de la lumière qui a traversé le verre couleur rubis. Le résultat est représenté par la figure 16, et nous voyons d'un seul coup d'œil que la solution de toute la question consiste simplement en ceci : le verre rubis peut transmettre les rayons rouges, mais arrête tous les autres ; ces autres rayons, il les absorbe, et c'est pour cela que nous disons qu'il produit sa couleur par absorption. En réalité, les autres rayons sont convertis en chaleur et élèvent très légèrement la température du verre. On peut varier un peu cette expérience sans en changer le résultat ; si nous projetons un spectre solaire sur un écran, comme nous l'avons dit au chapitre II, nous reconnaîtrons, en regardant le spectre à travers le verre rubis, que nous n'en voyons que l'espace rouge, la lumière qui vient des autres espaces colorés ne pouvant pas traverser le verre ; et enfin, en mettant

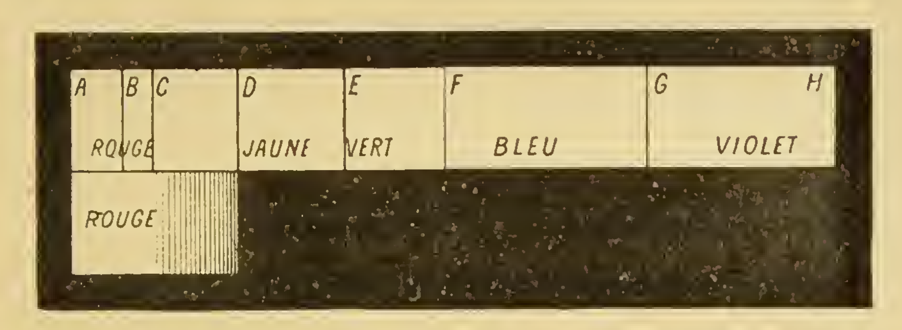


Fig. 16. — Comparaison entre le spectre de la lumière blanche et celui de la lumière rouge.

notre plaque de verre directement sur les trajets des rayons colorés, nous constaterons qu'elle les arrête tous, sauf ceux qui sont rouges. Ces expériences fondamentales simples prouvent que le verre rubis ne transforme pas la lumière blanche en lumière rouge, mais qu'il arrête certains rayons et les convertit en un genre de force qui ne produit aucun effet sur l'œil ; quant aux rayons qui ne sont pas arrêtés, ils arrivent à l'œil et y produisent la sensation de couleur.

Quand on veut étudier avec plus de soin la lumière colorée que transmet un verre de couleur, il est avantageux de se servir d'un spectroscope à un prisme de *flint-glass*. Il faut fixer le verre coloré de façon qu'il recouvre la moitié de la fente, et alors nous aurons côte à côte le spectre donné par le verre et celui que donne le prisme, de manière à pouvoir bien les comparer. Dans le second spectre, les raies fixes seront visibles et nous serviront de micromètre naturel

pour dresser un tableau de nos résultats. Toutefois il y a un autre point dont il faut tenir compte. Lorsque nous examinons attentivement le verre rouge au spectroscope, nous reconnaissons non seulement qu'il transmet les rayons rouges d'une manière énergique, mais aussi qu'un peu des rayons orangés, avec des portions encore plus faibles des rayons verts et des rayons bleus, le traversent également. Ainsi nous avons affaire non seulement aux espaces du spectre, mais encore aux intensités relatives des lumières colorées qui remplissent ces espaces. Il est difficile, ou plutôt impossible, de représenter les différentes intensités par des ombres tracées sur le papier ; aussi les physiciens ont-ils adopté une convention qui lève cette difficulté et leur permet d'exprimer les différences de luminosité d'une manière rapide et exacte. Il suffit pour cela de tracer une courbe, et de convenir que les distances mesurées de bas en haut en allant vers la

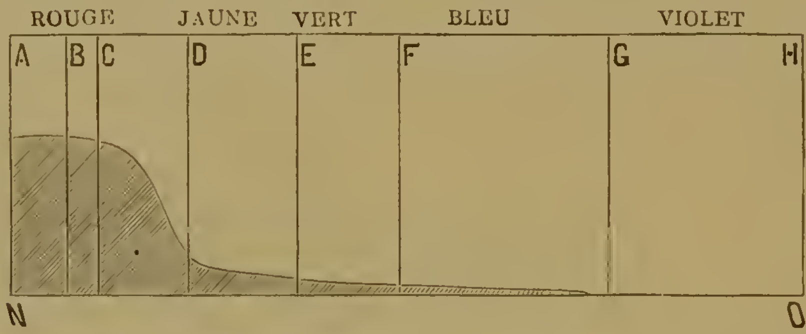


Fig. 17. — Spectre indiquant l'étendue et l'intensité de la lumière colorée transmise par le verre rouge. La partie ombrée représente la lumière transmise.

courbe représenteront les différents degrés de luminosité. Nous convenons donc que le rectangle AHON (figure 17) représentera un spectre solaire, avec ses différentes couleurs disposées dans l'ordre voulu, chacune avec sa luminosité naturelle ou normale, et dans ce rectangle nous traçons la courbe que nous fournit le verre rouge (fig. 17). Nous voyons que c'est dans l'espace rouge que cette courbe atteint sa plus grande hauteur ; mais, même dans cet espace, elle ne dépasse guère la moitié de la hauteur du rectangle, ce qui signifie que la luminosité de la lumière rouge transmise n'est que la moitié de celle de la même lumière dans le spectre ; dans l'espace orangé, la courbe baisse rapidement et en formant une pente très raide ; ensuite elle s'étend dans le vert et le bleu, et atteint presque le violet, de manière à indiquer que le verre rouge transmet des quantités très petites de ces différentes espèces de lumière colorée. Comme la lumi-

nosité de tous les rayons transmis, à l'exception du rouge, est extrêmement faible, la lumière qui nous arrive semble être du rouge pur. En étudiant de la même façon un verre jaune orangé, nous obtenons la courbe que représente la figure 18 : on voit que ce verre transmet la plus grande partie des rayons rouges, orangés et jaunes, avec une

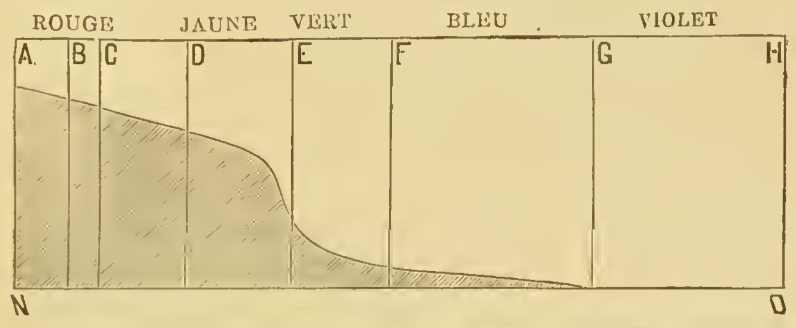


Fig. 18. — La partie ombrée représente la quantité de lumière transmise par un verre orangé.

proportion notable des rayons verts et quelques-uns des rayons bleus. Naturellement, les rayons orangés et jaunes, après leur transmission, composent une teinte jaune orangé, et l'union des rayons verts et des rayons rouges reproduit la même couleur, comme nous le verrons au chapitre X. Par conséquent, la couleur définitive est jaune orangé

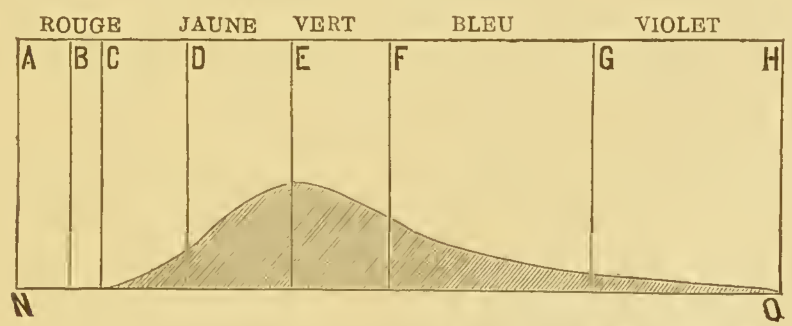


Fig. 19. — La partie ombrée représente la quantité de lumière transmise par un verre vert.

sans la moindre teinte de rouge ou de vert. Un verre vert nous donne la courbe que représente la figure 19 ; elle indique la transmission d'une grande quantité de lumière verte, ainsi que d'une certaine partie de rouge et de bleu. Un verre bleu montre le bleu cyané affaibli, le bleu d'outremer et le violet très forts ; le vert est très faible, ainsi que le jaune et l'orangé ; le rouge manque presque

entièrement, sauf l'extrême rouge assez faible. Le résultat définitif est naturellement un bleu violet (fig. 20). Un verre pourpre absorbe le milieu du spectre, c'est-à-dire le jaune, le vert et le bleu cyané; le rouge et le violet sont aussi affaiblis, tout en restant bien plus forts que les autres rayons transmis. Nous avons donc pour résultat définitif du rouge, du bleu d'outremer et du violet, qui mélangés donnent du pourpre. Ces expériences démontrent que les couleurs produites par absorption ne sont pas simples comme celles que fournit le prisme, mais sont les résultantes du mélange de plusieurs espèces

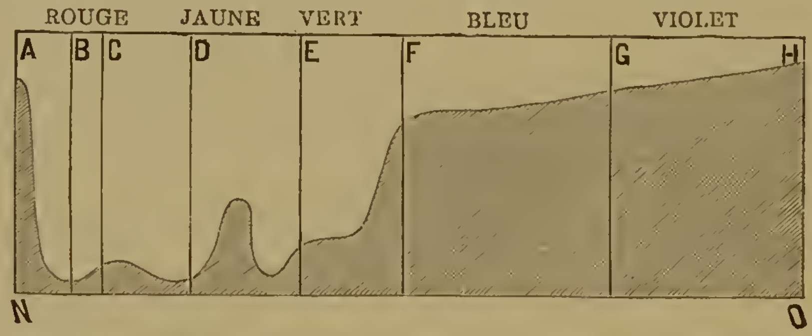


Fig. 20. — La partie ombrée représente la quantité de lumière transmise par un verre bleu.

différentes de lumière colorée dont l'éclat varie plus ou moins. Pour cette raison, et à cause de la tendance qu'un grand nombre d'espèces de verres colorés ont à absorber en grande partie toutes les sortes de lumières colorées qu'on leur présente, il se trouve que le verre de couleur nous donne une lumière colorée moins pure et moins lumineuse que celle du prisme. Néanmoins ces couleurs sont les plus pures et les plus intenses que nous rencontrions dans la vie ordinaire, et leur éclat et leur saturation les rendent bien supérieures à celles que produisent les matières tinctoriales ou colorantes.

Il faut maintenant dire quelques mots d'une propriété que possèdent probablement toutes les substances qui produisent la couleur par voie d'absorption. Si nous faisons passer de la lumière blanche à travers une seule plaque de verre jaune, les rayons qui arriveront à l'œil seront naturellement colorés en jaune. Ajoutons maintenant une seconde plaque du même verre, et la lumière qui traverse l'ensemble des deux présente une apparence un peu différente : elle est évidemment moins lumineuse, et sa *couleur* n'est plus tout à fait la même. En employant six ou huit plaques de verre jaune, nous voyons la lumière transmise devenir orangée. Si nous répétons la même

expérience avec un très grand nombre de plaques du même verre, la couleur obtenue se change en rouge foncé. Ces faits démontrent que la couleur du rayon lumineux transmis dépend dans une certaine mesure de l'épaisseur du milieu absorbant. Pour certains liquides, le changement de couleur est très considérable; par exemple, une couche mince de dissolution de chlorure de chrome transmet surtout de la lumière verte, et se comporte par conséquent comme le ferait

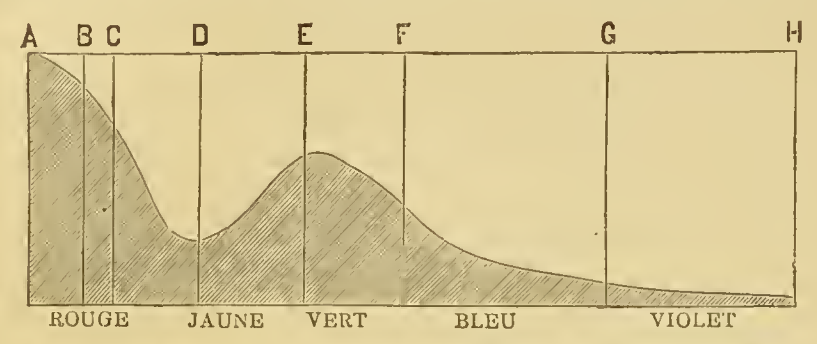
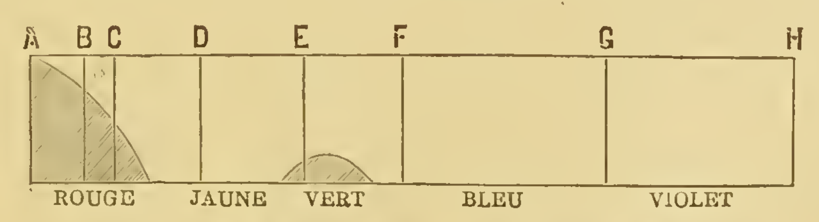


Fig. 21. — La partie ombrée représente la quantité de lumière transmise par le chlorure de chrome.

une plaque de verre vert; une couche épaisse du même liquide transmet moins de lumière en général, mais la couleur dominante est rouge, et les objets vus à travers cette couche présentent le même aspect que si on les regardait à travers une plaque de verre rouge foncé. Cette propriété curieuse s'explique aisément lorsqu'on examine l'action du liquide sur le spectre du prisme. La courbe de la figure 21



Fig, 22. — Chlorure de chrome; effet produit par une couche épaisse.

représente l'intensité relative de la lumière colorée dans les différentes parties du spectre. Si nous diminuons graduellement la hauteur du rectangle, comme le représentent les figures 22 et 23. nous obtiendrons les courbes qui correspondent à une épaisseur de liquide de plus en plus grande, et il est évident que nous finirons par avoir l'état de choses que représente la figure 23; la courbe de cette figure est à peu près la même que celle du verre rouge (fig. 17), et la couleur

définitive est rouge. C'est là un cas extrême ; mais les verres colorés, les matières colorantes et tinctoriales, etc., tendent généralement à produire des effets de ce genre. Nous aurons plus loin l'occasion d'en citer quelques exemples.

Les couleurs du verre peint ont la même origine et les mêmes propriétés que celles du verre coloré ; les deux espèces sont intenses, assez exemptes de mélange avec la lumière blanche, et susceptibles d'un haut degré de luminosité. Sous ces rapports, elles sont bien supérieures aux couleurs des peintures proprement dites, qui paraissent faibles et ternes ou pâles lorsqu'on les compare aux premières. Grâce à cette circonstance, on peut réaliser facilement avec le verre coloré des combinaisons chromatiques qui échoueraient complètement si on les tentait avec des couleurs ou des matières tinctoriales. De là vient aussi l'apparence merveilleusement lumineuse des peintures sur verre

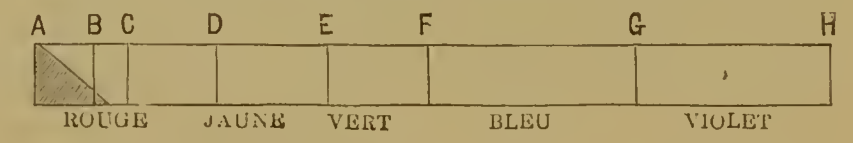


Fig. 23. — Chlorure de chrome ; effet produit par une couche très épaisse.

lorsqu'on les regarde dans une chambre convenablement obscurcie : sous certains rapports, elles sont tellement supérieures aux peintures à l'huile et aux aquarelles qu'il n'y a pas de comparaison possible. Sans aucun doute, la peinture sur verre offre, pour la production d'effets de couleur et de clair-obscur, des avantages irréalisables avec l'échelle limitée des tons que permettent la peinture à l'huile et l'aquarelle ; et cependant les grands artistes semblent rejeter ce procédé, et se bornent rigoureusement à travailler sur la toile ou sur le papier, parce qu'ils aiment mieux demander leurs effets uniquement à l'habileté technique et au sentiment artistique.

Si l'on met sur une feuille de papier blanc un morceau de verre bleu pâle, il manifestera sa couleur, mais avec moins d'éclat que lorsqu'on le tient de façon que la lumière de la fenêtre le traverse directement. La raison en est évidente : la lumière qui pénètre dans le verre tombe sur le papier, et celui-ci renvoie la lumière à l'œil à travers le verre. La lumière traverse donc le verre deux fois ; mais ce n'est pas là la seule cause de sa moindre luminosité, car une plaque double du même verre, tenue devant la fenêtre, paraît encore bien plus brillante que le verre simple sur le papier. L'autre raison,

c'est que le papier lui-même ne réfléchit qu'une faible proportion de la lumière qu'il reçoit. En examinant la question de plus près, nous reconnaissons aussi que le verre bleu réfléchit à sa surface une grande quantité de lumière blanche, laquelle, en se mêlant à la lumière colorée, contribue à la pâlir. Si maintenant nous réduisons un peu de ce verre bleu en poudre très fine, nous obtenons la matière colorante connue sous le nom de *smalt*, et, après l'avoir mélangée d'eau, nous pouvons en passer une couche mince sur notre papier blanc. Quand cette couche est sèche, le papier se trouve coloré en bleu, mais cette teinte n'est ni si lumineuse ni si intense que celle de la lumière transmise directement par le verre lorsqu'on le tient devant une fenêtre. Cependant les deux teintes ont une origine semblable : la lumière blanche, après avoir traversé une couche de molécules bleues, arrive au papier, puis est renvoyée à l'œil en traversant une seconde fois cette même couche. Dans ces circonstances, un grand nombre de rayons colorés sont absorbés, et c'est une petite partie seulement des éléments du rayon primitif qui finit par arriver à l'œil. Dans la première expérience, où l'on mettait simplement le verre bleu sur le papier blanc, il arrivait quelquefois que la lumière blanche réfléchie régulièrement sur la face antérieure du verre se mêlait à la lumière coloré et la rendait plus pâle; mais il était toujours possible de faire en sorte que ce mélange nuisible n'eût pas lieu. Dans l'expérience où l'on étend la poudre bleue sur le papier, ceci est impossible, car les surfaces des molécules bleues présentent toutes les inclinaisons possibles, et, de quelque façon que l'on tienne le papier, il réfléchira immanquablement une grande quantité de lumière blanche avec sa lumière colorée. Ainsi, lorsque nous étendons sur un papier blanc des matières colorantes à l'état de poudre sèche, nous devons nous attendre à ce qu'elles ne renvoient à l'œil qu'une quantité modique de lumière colorée, qui sera rendue assez pâle par son mélange avec la lumière blanche.

Ces faits se démontrent sans peine avec le secours d'un petit spectroscope à main; lorsque nous dirigeons l'instrument vers notre papier bleu, nous constatons la présence d'une quantité considérable de toutes les couleurs du spectre : donc le papier doit réfléchir de la lumière blanche; nous remarquons aussi que les rayons rouges, jaunes, orangés et verts s'y trouvent en moins grande quantité que dans le spectre ordinaire donné par un prisme : donc la courbe du papier de smalt est de la forme que représente la figure 24. Lors-

qu'on examine au spectroscope la lumière colorée réfléchie par les surfaces peintes, il y a avantage à mettre côte à côte avec la bande de papier coloré que l'on étudie deux autres bandes, l'une blanche et l'autre noire. Nous avons reconnu qu'un papier coloré en noir terne avec du noir de fumée délayé dans juste assez de vernis à l'essence pour le faire adhérer, sans qu'il y en ait assez pour lui donner le moindre luisant, réfléchit les $\frac{5}{100}$ de la quantité de lumière que réfléchit le papier blanc. Par conséquent, si nous représentons par 100 la luminosité du papier blanc, celle du papier noir terne sera 5. Or une bande de ce papier noir, mise devant la fente du spectroscope, se comporte comme un papier blanc faiblement éclairé, et par conséquent fournit un spectre complet, quoique peu lumineux.

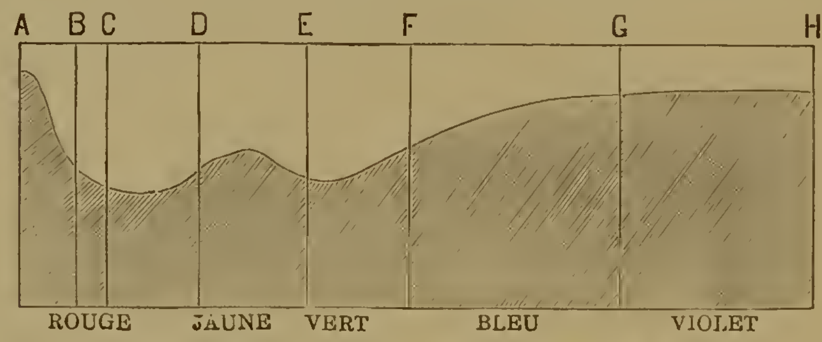


Fig. 24. — Courbe du papier de smalt : la partie ombrée représente la lumière qu'il réfléchit.

Par conséquent, en employant une bande noire et blanche en même temps que la bande peinte, nous pouvons constater plusieurs faits qu'un exemple fera mieux comprendre. Prenons d'abord du vermillon en poudre sèche, et recherchons-en les propriétés optiques de cette façon. Nous reconnaissons que le rouge de son spectre est à peu près aussi puissant que le rouge du spectre du papier blanc, et que les autres couleurs. bien qu'elles y soient toutes, ne sont guère plus fortes que celles du papier noir. C'est là tout ce que nous pouvons demander à une matière colorante quelconque : elle renvoie à l'œil une proportion raisonnable des rayons qu'elle doit réfléchir, et ces rayons ne contiennent pas plus de lumière blanche que n'en réfléchit un papier noir mat. Soumis à la même épreuve, le vert émeraude se montre sensiblement inférieur au vermillon : à l'état de poudre sèche, il donne un espace vert brillant, mais moins brillant que celui qui vient du papier blanc; les autres couleurs ont à peu près le même degré de

luminosité que celles que donne le papier noir, excepté le violet, qui manque. Le jaune de chrome réfléchit les rayons rouges. orangés, jaunes et verts avec à peu près autant d'éclat que le papier blanc; le bleu cyané, l'outremer et le violet, à peu près comme le papier noir. De là vient la grande luminosité de cette matière colorante. car elle réfléchit en abondance non seulement les rayons jaunes, mais encore tous les autres rayons du spectre qui se distinguent par leur luminosité. Comme nous l'avons déjà dit, la somme de ces rayons donne du jaune. Ces expériences prouvent clairement qu'une surface peinte ne peut jamais être aussi lumineuse qu'une surface blanche; le plus qu'on puisse demander à une surface peinte, c'est de réfléchir la lumière de sa propre couleur avec autant de puissance que le fait une surface blanche; la raison même pour laquelle elle fournit une lumière colorée, c'est qu'elle ne réfléchit pas également bien tous les rayons colorés. Aussi les surfaces colorées sont-elles toujours plus sombres que les surfaces blanches. Si nous représentons par 100 la luminosité du papier blanc, celle du vermillon sera environ 25, celle du vert émeraude 48, et enfin celle du jaune de chrome ira jusqu'à 75 ou 80.

Nous pouvons maintenant répéter ces expériences avec les mêmes matières colorantes recouvertes d'une couche d'eau. La surface de l'eau étant tout à fait plate, on peut tenir le spectroscope de manière à éviter la lumière directement réfléchie par l'eau, et il devient alors possible d'observer certains changements que détermine la présence de l'eau. Avec du vermillon, nous voyons disparaître presque entièrement le bleu et le violet du spectre; il reste un peu du jaune, de l'orangé et du vert; enfin le rouge est presque aussi puissant qu'auparavant. Cela prouve que la présence de l'eau a beaucoup diminué la quantité de lumière *blanche* réfléchie à la surface des molécules de substance colorante, mais qu'elle n'a presque pas diminué l'éclat de la lumière colorée réfléchie. En opérant sur le vert émeraude et sur le jaune de chrome, on arrive à des résultats analogues; il y a en général moins de lumière réfléchie, mais la lumière est un peu plus pure, parce qu'elle est mélangée de moins de lumière blanche. En immergeant nos couleurs dans l'huile ou dans le vernis, nous poussons ces effets encore plus loin : les substances paraissent plus foncées, mais la couleur en est plus riche et plus complètement exempte de lumière blanche. L'explication de ces changements est bien connue des physiciens : ils viennent de ce que la lumière qui chemine dans un

milieu peu dense, comme l'air, est réfléchie en abondance quand elle vient tomber sur une substance dense comme l'est une matière colorante; mais, si celle-ci est recouverte d'eau, nous avons alors de la lumière qui chemine dans un milieu dense (l'eau), et qui vient tomber sur un autre milieu qui n'est qu'un peu plus dense (la couleur); il en résulte qu'une faible quantité seulement de lumière blanche se réfléchit à la surface des petites molécules. La lumière colorée que la couleur fournit en si grande abondance, même sous l'eau, prend sa source dans les réflexions qui ont lieu à l'intérieur des molécules à grains un peu gros de la substance elle-même. Si cette substance est naturellement à grains fins, et est aussi mêlée à un liquide tel que l'huile, qui a pour ainsi dire la même densité optique, elle ne réfléchira presque aucune lumière, colorée ou non colorée. Le bleu de Prusse et la laque cramoisie, broyés dans de l'huile, en sont de bons exemples. Pour manifester les couleurs de ces deux substances, il faut ou les étendre en couches minces sur une surface claire, ou les mélanger avec une matière colorante blanche; seules, elles paraissent très foncées; le bleu de Prusse semble réellement presque noir. La présence de l'huile ou d'un vernis produit plus ou moins le même effet sur un grand nombre d'autres matières colorantes.

Des faits que nous venons d'exposer il résulte que la substance avec laquelle les matières sont mélangées exerce une grande influence sur leur apparence. Les dessins exécutés au pastel et les peintures à l'huile nous offrent les deux extrêmes; les aquarelles tiennent le milieu entre les deux. Aussi la peinture à l'huile est-elle caractérisée par la richesse des couleurs et la transparence et la profondeur de ses ombres, tandis que dans les pastels les teintes sont plus pâles et les ombres moins marquées; en outre, les pastels semblent toujours couverts d'une vapeur légère qui se prête admirablement à l'imitation exacte du ciel et des distances. Les changements qu'éprouve le véhicule de la couleur sont quelquefois une source d'embarras pour le peintre. Cela arrive surtout pour la fresque, et aussi, dans une certaine mesure, pour l'aquarelle : tant que la couleur est humide, elle semble plus foncée qu'on ne la voit ensuite lorsqu'elle est sèche, et, en mettant chaque couche, le peintre doit tenir compte de ces changements; c'est là une des petites raisons qui rendent l'aquarelle plus difficile que la peinture à l'huile.

Comme nous l'avons déjà dit, lorsque nous nous servons d'une matière colorante pour obtenir la lumière colorée, cette lumière

contient ordinairement plus de lumière blanche que quand nous nous servons d'un verre coloré; en outre, elle est moins lumineuse que la lumière donnée par le verre coloré. L'éclairage de l'intérieur de nos maisons n'est pas très vif, de sorte qu'au point de vue pratique celui qui peint à l'huile ou à l'aquarelle ne dispose que d'une échelle lumineuse peu étendue; en réalité, les circonstances le forcent à se servir de moyens tout à fait insuffisants : de là vient le soin extraordinaire avec lequel le peintre ménage ses ressources en fait de lumière et d'ombre, ainsi que ses efforts constants pour arriver à la perfection et à la décision dans le coloris. Les couleurs sales et troubles se reconnaissent immédiatement avec un éclairage faible, même lorsqu'elles ont échappé à l'attention sous les rayons éclatants du soleil. Il n'est guère de surface qui ne semble belle lorsqu'elle est exposée à une lumière brillante; l'œil est ébloui, et ne découvre pas des défauts que la lumière plus faible d'une galerie de tableaux dénonce immédiatement à l'observateur.

Les couleurs que présentent les tissus sont dues à l'absorption, comme celles du verre coloré. Pour les tissus de soie et de laine, la teinture pénètre complètement les fibres, de sorte qu'au microscope elles présentent à peu près le même aspect que des fils fins de verre coloré. Lorsque de la lumière blanche tombe sur un faisceau de ces fibres colorées, une partie de la lumière se réfléchit sans se colorer à la surface des fibres extérieures, tandis qu'une autre partie de cette lumière pénètre jusqu'aux surfaces postérieures de ces mêmes fibres, et là se subdivise encore; quelques rayons pénètrent encore plus profondément dans le faisceau, tandis que les autres, revenant à la surface supérieure, en ressortent colorés. Cette action se répète dans toute la profondeur du tissu, et il en résulte qu'une grande quantité de lumière fortement colorée est renvoyée à l'œil, mêlée avec une partie de lumière plus faiblement colorée, laquelle provient des couches supérieures; enfin il y a encore une petite portion de lumière tout à fait blanche. On verra que le pouvoir réflecteur des fibres est un élément important dans cette action, car toute la lumière colorée qui arrive à l'œil y est envoyée par réflexion. Si nous prenons des tissus semblables de soie et de laine, nous pourrons comparer directement le lustre ou le pouvoir réflecteur des deux espèces de fibres, en nous servant d'une lentille dont le grossissement est de 10 à 15 diamètres. Un cocon de soie et un morceau de feutre blanc sont très commodes pour cette expérience, et, quand on les regarde au

microscope, on voit clairement que le lustre naturel de la soie est bien supérieur à celui de la laine. Si l'on compare de cette façon du feutre et de la ouate blanche, on verra que la laine a un lustre supérieur à celui du coton, et que ce dernier semble d'un blanc presque mat et sans éclat. Il en résulte que la lumière colorée réfléchie par la soie est plus saturée ou plus intense, et semble plus riche que celle réfléchie par la laine. On peut aussi disposer les fibres de soie en faisceaux droits, parallèles, compacts, ce qui leur permet de réfléchir la lumière blanche dans des directions bien définies, tandis que les tissus de laine réfléchissent la lumière également bien dans toutes les directions. Par suite, un tissu de soie peut, suivant le cas, présenter une couleur riche et saturée presque exempte de lumière blanche, ou réfléchir une grande quantité de lumière blanche et montrer une couleur pâle. Ces jeux de lumière sont d'un très bel aspect, et font paraître terne et sans effet l'apparence que présentent les tissus de laine. D'un autre côté, la transparence des fibres de laine teinte, plus grande que celle des fibres de coton, donne aux couleurs de la première substance un certain air de richesse et de saturation, et fait paraître les teintes du coton un peu opaques.

Avec le velours, il s'agit de supprimer toute la lumière qui vient de la surface, et de ne montrer que les rayons qui ont pénétré profondément entre les fibres et sont devenus très colorés. On y arrive en présentant à la lumière une surface entièrement composée des extrémités des fibres, et n'ayant par conséquent que peu ou point de pouvoir réflecteur. Les rayons pénètrent alors entre les fibres ainsi placées debout, et, après avoir circulé entre elles, finissent par revenir en petite quantité à la surface, à l'état de lumière richement colorée, qui produit tout son effet sans être diminuée par le moindre mélange de lumière blanche venue de la surface. Avec du velours de soie, on atteint presque toujours le résultat désiré : les couleurs sont riches, et l'examen à la lentille montre que presque aucune des fibres ne réfléchit de lumière blanche, même lorsqu'on tient le tissu dans des positions défavorables. Si l'on examine de la même façon du velours de coton avec une lentille, on reconnaîtra que ce velours réfléchit une quantité notable de lumière de la surface, particulièrement lorsqu'il n'est plus tout à fait neuf; en même temps, la surface présente un aspect brisé et rude, bien différent de celui de son rival plus aristocratique.

Il semble que de nos jours on dispose réellement pour les tissus

de teintures qui fournissent une lumière colorée dont l'intensité et la pureté sont tout à fait excessives. Tel est l'effet que produisent quelques-unes des couleurs d'aniline. Des robes teintes avec certaines de ces couleurs, lorsqu'elles sont en pleine lumière, exercent sur l'œil une action si puissante qu'il suffit de les regarder pendant un moment pour éprouver le phénomène des couleurs accidentelles (voir le chapitre VIII). Ces effets exagérés sont intéressants, parce qu'ils nous prouvent d'une manière certaine que nos teinturiers ont déjà atteint, et même dépassé, les limites permises en fait d'intensité et de pureté de couleur. Cela est vrai du moins pour les grandes surfaces, telles que les costumes complets. Pour les objets plus petits, rubans et autres, ces couleurs intenses sont plus tolérables, tout comme l'éclat des diamants est rendu supportable par la petitesse de leurs dimensions.

Nous avons vu jusqu'ici que les couleurs des substances colorantes et des matières tinctoriales sont dues à l'absorption ; c'est à la même cause qu'il faut attribuer les couleurs de la plupart des objets que l'on voit dans un paysage. Deux d'entre elles ont une telle importance, que nous devons consacrer quelques instants à les étudier l'une après l'autre : nous voulons parler de la couleur de l'eau et de celle de la végétation. La couleur des grandes masses d'eau, comme les lacs et les fleuves, est tellement influencée par celle du ciel, que bien des personnes considèrent la première comme dépendant entièrement de la seconde, et sont disposées à douter que l'eau ait une couleur qui lui soit propre. Il est bien vrai qu'une petite quantité d'eau pure, comme celle qui remplit un verre à boire, semble parfaitement incolore, et que la lumière qui vient des objets blancs la traverse sans éprouver d'absorption appréciable. Mais, si la lumière blanche réfléchie par une assiette de porcelaine traverse une couche d'eau distillée pure de 2 mètres d'épaisseur, nous verrons qu'elle prend une teinte bleuâtre. Cette expérience, que Bunsen a faite le premier, prouve qu'il y a absorption à l'extrémité rouge du spectre, et que l'eau est réellement colorée comme l'est une dissolution faible d'indigo. L'eau du lac de Genève est tout à fait pure, puisqu'elle est produite principalement par la fonte des glaciers ; le granit pulvérisé qui se trouve dans cette eau, étant en grains assez gros, se dépose bientôt au fond et laisse l'eau tout à fait limpide. Aussi est-il facile de répéter l'expérience de Bunsen le long des belles rives de ce lac, et d'y étudier la couleur de l'eau. Des objets blancs, jetés au fond de

l'eau dans les endroits où la profondeur n'est que de 6 à 8 pieds, montrent bien nettement une teinte d'un bleu verdâtre, que l'on peut d'ailleurs examiner à des profondeurs différentes, en faisant descendre dans l'eau un morceau de porcelaine blanche suspendu à une ficelle. Même les jours où il y a des nuages, lorsque le ciel est gris et couvert, le lac lui-même déploie une couleur bleu cyané d'une intensité merveilleuse, tandis que par les beaux jours, en regardant les eaux du lac, on serait tenté de le prendre pour une vaste cuve à teinture naturelle. Quand l'eau contient une petite quantité de matières végétales, sa couleur passe au vert bleuâtre; nous pourrions en citer un grand nombre d'exemples parmi les magnifiques lacs du Tyrol. D'un autre côté, les matières organiques en décomposition rendent l'eau brunâtre, et les lacs ou les rivières de cette couleur prennent souvent, par les temps couverts, une teinte gris d'argent, tandis qu'avec un ciel pur elles paraissent souvent nettement bleues. Il y a des raisons de croire que l'action absorbante exercée par l'eau pure sur la lumière blanche change avec la température de cette eau, et que l'eau chaude a réellement une teinte plus foncée que l'eau froide. La chaleur exerce une action de ce genre sur un grand nombre de substances colorées, et Wild a constaté avec son photomètre que l'eau distillée aussi bien que l'eau de pompe est un peu plus colorée quand on la chauffe. Ce fait lui sert à expliquer la coloration plus intense que les lacs des montagnes présentent, dit-on, pendant les mois d'été.

La couleur verte des végétaux est un phénomène tout particulier. Lorsque nous examinons au spectroscope une matière colorante ordinaire, nous voyons que le rouge manque tout à fait et que le bleu et le violet sont très affaiblis, résultats que nous a déjà donnés le vert émeraude. Mais les feuilles vertes donnent un spectre qui n'a pas les mêmes caractères : le rouge extrême s'y trouve, puis vient un espace sans lumière colorée, suivi d'un espace rouge orangé; ensuite viennent l'orangé, le jaune, le jaune verdâtre et le vert jaunâtre ; après cela, on trouve un peu de vert pur ; le reste du spectre pâlit rapidement. La figure 25 représente ce spectre. La somme de toutes ces couleurs donne un vert un peu jaunâtre ; telle est donc la couleur que présentent les feuilles vertes à la lumière blanche. On verra au chapitre X qu'un mélange de lumière rouge et de lumière verte donne de la lumière jaune, ce qui explique la production d'un vert jaunâtre de cette façon un peu singulière. L'analyse que nous venons de faire démontre que les feuilles vertes peuvent réfléchir une quantité con-

sidérable de lumière rouge, tandis que des surfaces recouvertes d'une matière colorante verte n'auraient pas cette propriété, et par conséquent sembleraient noires ou grises. Ainsi, sous l'action de la lumière rouge du soleil couchant, le feuillage peut prendre une teinte rouge ou rouge orangé. De même, lorsque l'éclairage a une couleur orangée, le feuillage prendra cette teinte d'une manière plus marquée que ne le feraient les substances vertes ordinaires. La même analyse explique le grand changement de couleur que subit le feuillage, suivant qu'il est éclairé par les rayons directs du soleil ou par la lumière

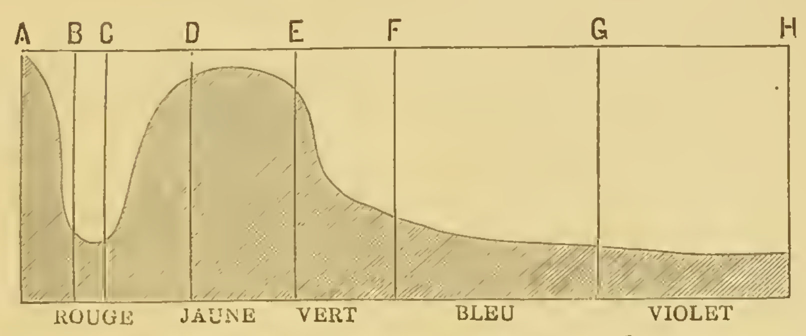


Fig. 25. — La partie ombrée représente la lumière réfléchie par les feuilles vertes.

du ciel bleu : dans les cas extrêmes, la teinte des cuilles varie du jaune pur ou légèrement verdâtre au vert bleuâtre.

Simler a construit un petit appareil très ingénieux, fondé sur la propriété singulière qu'ont les feuilles vivantes de réfléchir en abondance les rayons rouges extrêmes du spectre ; il lui a donné le nom d'*érythroscope*. On prend une plaque de verre bleu, coloré avec du cobalt, et d'une épaisseur qui laisse passer le rouge extrême du spectre, mais non l'orangé ou le jaune ; ce verre doit aussi transmettre la petite bande de jaune verdâtre qui se trouve juste avant la raie fixe E, et tout le vert de *b* à F, ainsi que tout le bleu et le violet. Il faut aussi une plaque de verre jaune un peu foncé ; cette plaque doit transmettre toute la lumière du spectre depuis le rouge extrême jusqu'en G, c'est-à-dire qu'elle ne doit supprimer que le violet et le violet bleu. Lorsqu'on regarde à travers ces deux plaques de verre un paysage éclairé par le soleil, il prend une apparence merveilleuse : toutes les plantes et les arbres verts brillent d'une couleur rouge corail, comme s'ils étaient lumineux par eux-mêmes ; le ciel est bleu cyané, les nuages sont violet pourpré ; la terre et les rochers prennent différentes teintes gris violet. Les pins semblent être rouge

sombre ; les fleurs orangées ou jaunes deviennent rouges ou rouge de sang ; les verts autres que ceux du feuillage conservent leurs teintes naturelles, ou du moins ne deviennent qu'un peu plus bleuâtres ; les lacs conservent leur belle couleur vert bleu, et les effets de lumière et d'ombre sur le paysage ne sont pas changés ; en un mot, on dirait que la baguette d'un magicien a passé sur le paysage et l'a transformé en jardin enchanté. Pour bien obtenir tous ces effets, il est indispensable qu'aucune lumière diffuse n'arrive aux yeux, et par conséquent les verres doivent être placés dans une monture de bois ou de carton qui s'adapte au contour du visage et qui intercepte autant que possible la lumière diffuse. En comparant le spectre que donnent ces verres bleu et jaune à celui que fournissent les feuilles vertes, on reconnaîtra que les deux verres interceptent presque toute la lumière verte fournie par les feuilles, mais laissent passer les rayons de lumière verte que les feuilles ne peuvent donner.

Les couleurs que présentent les métaux tels que le cuivre, le laiton ou l'or, sont dues à l'absorption. Une assez grande quantité de lumière blanche est réfléchie par la surface extérieure du métal, mais avec cette lumière blanche est mêlée une certaine quantité de lumière qui a pénétré jusqu'à une petite distance dans la substance du métal, et qui y a subi la réflexion ; cette seconde portion de lumière est colorée. Si nous faisons en sorte que ce mélange de lumière blanche et de lumière colorée vienne se heurter à plusieurs reprises sur une surface métallique, — sur de l'or par exemple, — nous augmenterons constamment la quantité de lumière qui aura pénétré au delà de la surface extérieure et qui sera devenue colorée. C'est là ce qui se passe à l'intérieur d'un gobelet d'or ; aussi la couleur de cet intérieur est-elle plus foncée et plus saturée que celle de l'extérieur. Certains métaux — l'argent ou l'acier, par exemple — ne montrent guère de couleur avant que la lumière ait frappé à plusieurs reprises sur leurs surfaces ; quand on fait cette expérience sur l'argent, la lumière prend peu à peu une couleur jaune, tandis que pour l'acier elle devient bleue.

Il ne faut pas confondre la couleur véritable des métaux avec celle qui leur est souvent donnée par l'existence à leur surface d'une pellicule d'oxyde ou de sulfure ; ces pellicules donnent en général au métal un aspect bleuâtre, bien qu'il soit possible de produire de cette façon sur les métaux toutes les couleurs du spectre. En réalité, la

teinte qui se produit dans tous ces cas vient d'une interférence de lumière causée par la couche mince, et est tout à fait distincte de la couleur réelle du métal (voy. chap. IV).

Tous les métaux, tant colorés que blancs, sont surtout remarquables par les grandes quantités de lumière qu'ils peuvent réfléchir. Les mesurages faits par Lambert ont démontré que la *quantité totale* de lumière réfléchie par le papier blanc est d'environ 40 0/0 de la lumière qu'il reçoit. Mais l'argent peut réfléchir jusqu'à 92 0/0 de la lumière reçue ; l'acier, 60 0/0, etc.

Les surfaces polies, particulièrement celles des métaux, jouissent d'une autre propriété, qui ajoute à leur éclat apparent et en accroît l'effet. Les portions de la surface qui ne sont pas tournées vers la lumière n'en réfléchissent souvent que très peu, et semblent presque noires. Ce contraste bien marqué rehausse l'aspect brillant et étincelant des parties éclairées, et les met bien au-dessus des surfaces peintes. Aussi, dans la peinture sérieuse ou réaliste, ne peut-on employer les métaux à côté des couleurs ; ils manquent absolument d'harmonie, et font penser que le peintre a eu recours à un expédient médiocre au lieu de profiter des véritables ressources de l'art. Dans les tableaux du moyen âge, où l'or était prodigué sans réserve pour le fond des portraits de saints personnages, ou même pour l'ornement de leur costume, le but du peintre était de produire des représentations plutôt symboliques que réalistes, et, s'il employait l'or, c'était pour rappeler aux spectateurs que son tableau n'était pas le portrait d'un mortel ordinaire, mais plutôt une tentative enfantine pour représenter et orner avec prodigalité l'image idéale d'un être saint et vénéré. D'un autre côté, l'éclat de l'or et la richesse de sa couleur le rendent éminemment propre à encadrer les peintures et à les isoler des objets voisins. Un cadre peint ou en bois, possédant une couleur de la même catégorie que celles du tableau, en devient en quelque sorte l'extension et pourrait nuire à l'harmonie de son coloris ; en outre, son pouvoir isolant est inférieur à celui de l'or, parce qu'il ressemble plus aux objets ordinaires qui l'entourent.

Après avoir ainsi étudié en détail les couleurs produites par l'absorption, il ne sera pas hors de propos de dire ici quelques mots des essais qui ont été faits pour reproduire les couleurs par la photographie. Les photographies rendent avec exactitude la lumière et l'ombre ; pourquoi ne reproduiraient-elles pas aussi les couleurs des objets ? En 1848, M. E. Becquerel annonça qu'il avait réussi à photographier

les couleurs d'un spectre prismatique, reçues sur une plaque d'argent qui avait été soumise à l'action du chlore. Ces couleurs étaient malheureusement fugitives et ne duraient que quelques minutes. En 1850 Niepce de Saint-Victor, et en 1852 J. Campbell affirmèrent qu'ils avaient rendu ces couleurs plus durables. En 1862, le premier de ces deux savants, par le lavage des plaques terminées dans une dissolution de dextrine contenant du chlorure de plomb, obtint des photographies colorées qui durèrent douze heures. L'année suivante, il perfectionna encore son procédé, et les couleurs, quoiqu'exposées à une lumière naturelle assez vive, résistèrent trois ou quatre jours. L'étude des détails des mémoires relatifs à ces expériences indique que les couleurs ainsi obtenues sont dues à une réduction plus ou moins considérable de la pellicule de chlorure d'argent, et ne sont, en réalité, produites que par l'interférence de la lumière; par conséquent, elles n'ont aucune liaison nécessaire avec les teintes des objets naturels auxquelles elles semblent devoir leur origine. Aussi devons-nous regarder ce problème comme non encore résolu, et l'état actuel de la science ne donne aucune raison de supposer qu'il doive l'être jamais. Pourquoi l'action des rayons rouges sur une certaine substance produirait-elle un composé rouge, celle des rayons verts et violets des composés verts et violets, et ainsi de suite pour tous les autres rayons colorés? C'est pourtant là ce que suppose la reproduction des couleurs par la photographie.

De nos jours, ce problème a été repris d'une manière tout à fait différente, et qui a donné des résultats plus favorables au point de vue de la pratique. Supposons que nous mettions un verre rouge devant un appareil photographique, et qu'ensuite nous fassions la photographie de quelque objet offrant des couleurs brillantes, d'un tapis, par exemple. Nous obtiendrons une image négative ordinaire, qui sera due uniquement à la lumière rouge envoyée par le tapis dans la direction de l'instrument. Les parties du tapis qui ont une autre couleur ne seront pas photographiées du tout. Mettons ensuite devant la chambre obscure un verre qui ne transmette que les rayons jaunes (s'il est possible de trouver un tel verre), et nous aurons la reproduction des éléments jaunes du tapis; puis nous ferons la même chose avec un verre bleu. Avec ces trois négatifs ordinaires on fait trois positifs sur gélatine, le premier coloré avec une matière rouge transparente, le second avec une matière jaune et le troisième avec une matière bleue. La première plaque de gélatine contiendra une

image rouge, due aux parties rouges du tapis; la seconde et la troisième, des images, l'une jaune et l'autre bleue, d'origine semblable. En superposant ces plaques colorées transparentes, nous aurons un tableau d'un dessin exact, reproduisant grossièrement les couleurs du tapis. Ceci peut nous donner une idée de la méthode proposée en 1869 par MM. C. Cross et Ducos du Hauron. pour la reproduction *indirecte* des couleurs par la photographie. Dans l'application réelle de ce procédé, les négatifs étaient pris avec des verres orangés, verts et violets; avec ces négatifs, on obtenait ensuite des images bleues, rouges et jaunes. Ce procédé a été considérablement perfectionné par MM. Albert de Munich, et Bierstadt de New-York. Pour l'épreuve finale ils ne se servent plus de gélatine, mais la remplacent par des couches minces de couleur appliquées au moyen de pierres lithographiques. Le choix des matières colorantes est nécessairement laissé au jugement de l'opérateur, et, dans son état actuel, ce procédé est plutôt fait pour reproduire les couleurs tranchantes des ornements inventés par le décorateur que les teintes pâles et fugitives que nous présente la nature.

APPENDICE AU CHAPITRE VII.

Nous donnons ici la liste des matières colorantes qui, d'après Field et Linton, résistent à l'action prolongée de la lumière, ainsi qu'à celle des gaz délétères :

Blanc.

Blanc de zinc.
Blanc de perle véritable.
Blanc de baryte.
Blanc d'étain.

Rouge.

Vermillon.
Rouge indien.
Rouge de Venise.
Rouge clair.
Ocre rouge.

Jaune.

Jaune de cadmium.
Jaune citron.
Jaune de strontiane.
Ocre jaune.

Orangé.

Vermillon orangé.
Jaune de Mars.
Ocre orangée.
Terre de Sienne calcinée.
Ocre de Rome calcinée.

Vert.

Oxyde de chrome.
Vert de Rinman.
Terre verte.

Bleu.

Outremer.
Ocre bleue.

Violet.

Ocre pourpre.
Violet de Mars.

Jaune.

Terre de Sienne naturelle.
Ocre d'Oxford.
Ocre de Rome.
Ocre de roche.
Ocre brune.

Noir.

Noir d'ivoire.
Noir de fumée.
Encre de Chine.
Graphite.

Brun.

Brun de Rubens.
Brun de Vandyck.
Terre d'ombre naturelle.
Terre d'ombre calcinée.
Terre de Cassel.
Terre de Cologne.
Bistre.
Sépia.
Asphalte.

Le blanc de céruse, le smalt et le bleu de cobalt résistent à l'action de la lumière, mais non à celle des gaz délétères. Les deux dernières de ces couleurs sont considérées comme résistantes pour l'aquarelle.

D'après Field, les teintes des couleurs suivantes ne s'altèrent pas quand on les mélange à la chaux, et par conséquent elles conviennent à la fresque :

Blanc.

Baryte.
Blanc de perle.
Gypse.
Terres pures.

Rouge.

Vermillon.
Minium.
Ocre rouge.
Rouge clair.
Rouge de Venise.
Rouge indien.
Rouge garance.

Jaune.

Jaune indien.
Ocre jaune.
Ocre d'Oxford.
Ocre de Rome.
Ocre de roche.
Ocre brune.
Terre de Sienne naturelle.
Jaune de Naples.

Noir.

Noir d'ivoire.
Noir de fumée.
Craie noire.
Graphite.

Orangé.

Vermillon orangé.
Orangé de chrome.
Ocre orangée.
Jaune de Mars.
Terre de Sienne calcinée.

Vert.

Terre verte.
Vert émeraude.
Vert de montagne.
Vert de cobalt.
Vert de chrome.

Bleu.

Outremer.
Smalt.
Cobalt.

Pourpre.

Garance pourpre.
Ocre pourpre.

Brun.

Brun de Vandyck.
Brun de Rubens.
Terre d'ombre naturelle.
Terre d'ombre calcinée.
Terre de Cassel.
Terre de Cologne.
Terre d'Anvers.
Bistre.

Comme l'effet de la lumière sur les matières colorantes a une très grande importance pour les peintres, et surtout pour ceux qui se servent des teintes claires employées pour l'aquarelle, nous avons soigneusement étudié cette question par la méthode expérimentale. Les teintes, étendues sur du papier à dessin ordinaire, ont été exposées aux rayons du soleil d'été pendant plus de trois mois et demi, et nous avons noté avec soin les résultats obtenus ; nous les donnons ici :

COULEURS D'AQUARELLE QUI RÉSISTENT A L'ACTION DE LA LUMIÈRE

Rouge.	*Orangé.*	*Jaune.*
Rouge indien. Rouge clair.	Jaune de Mars.	Jaune de cadmium. Ocre jaune. Ocre de Rome.
Vert.	*Bleu.*	*Brun.*
Terre verte.	Cobalt. Bleu de France. Smalt. Bleu nouveau.	Terre d'ombre calcinée. Terre de Sienne calcinée.

Les couleurs suivantes ont été toutes plus ou moins altérées ; celles qui l'ont été très peu sont en tête de cette liste, que nous avons disposée de manière à indiquer l'intensité relative des altérations, les couleurs les moins résistantes étant placées à la fin :

Le jaune de chrome devient légèrement verdâtre.

Le minium devient un peu moins orangé.

Le jaune de Naples devient légèrement brun verdâtre.

La terre de Sienne naturelle pâlit légèrement ; elle devient plus jaunâtre.

Le vermillon devient plus foncé et brunâtre.

L'auréoline passe légèrement.

Le jaune indien passe légèrement.

Le bleu d'Anvers passe légèrement.

Le vert émeraude passe légèrement.

Le vert olive passe légèrement et devient plus brunâtre.

La garance rose passe légèrement et devient plus pourprée.

La sépia passe légèrement.

Le bleu de Prusse passe un peu.

Le vert de Hooker devient plus bleuâtre.

La gomme-gutte passe et devient plus grise.

Le bistre passe et devient plus gris.

La garance calcinée passe un peu.

La teinte neutre passe un peu.

Le brun de Vandyck passe et devient plus gris.

L'indigo passe un peu.

Le rose brun passe beaucoup.

Le carmin violet passe beaucoup et devient brunâtre.

La laque jaune passe beaucoup et devient brunâtre.

La laque cramoisie passe et s'efface.

Le carmin passe et s'efface.

Nous pouvons ajouter que la garance rose, la garance calcinée ou brune et la garance pourpre sont toutes un peu altérées lorsqu'on les laisse exposées aux rayons solaires pendant soixante-dix heures. Des teintes pâles des couleurs suivantes ont été complètement effacées par une exposition bien plus courte aux rayons du soleil :

Carmin.	Laque jaune.	Rose d'Italie.
Rouge franc.	Vert de vessie.	Carmin violet.
Sang-dragon.	Rose brun.	

CHAPITRE VIII

PERCEPTION ANORMALE DES COULEURS, ET DALTONISME

Nous avons considéré en détail les différentes méthodes ordinaires par lesquelles se produit la sensation de couleur; mais, pour rendre cet exposé plus complet, il faut parler de quelques-unes des méthodes peu habituelles ou extraordinaires. Dans tous les cas que nous avons examinés jusqu'ici, la sensation de couleur a été le résultat de l'action exercée sur l'œil par une lumière colorée, c'est-à-dire par des ondes lumineuses ayant pratiquement une longueur bien définie. Toutefois, comme la couleur n'est qu'une *sensation* et n'a aucune existence en dehors de l'organisation nerveuse des êtres vivants, on ne sera peut-être pas étonné de découvrir que cette sensation peut être produite par de la lumière blanche aussi bien que par une lumière colorée, ou même qu'elle peut se développer dans une obscurité complète, sans l'intervention d'aucune espèce de lumière. Si l'on fixe ses regards pendant quelques instants sur une feuille de papier blanc posée sur un fond noir et éclairée par les rayons du soleil, et qu'ensuite on ferme les yeux et qu'on exclue toute lumière à l'aide des mains ou autrement, on reconnaîtra que l'absence de la lumière ne fait pas disparaître immédiatement l'image du papier. Une fois que les yeux sont fermés, cette image reste encore nettement visible pendant plusieurs secondes : on voit d'abord l'image d'une manière tout à fait exacte, comme celle d'un objet blanc sur un fond noir; ensuite, chez certains observateurs, le blanc se change en bleu, en vert, en rouge, pour revenir enfin au bleu, le fond restant toujours noir. Au bout de cette première phase, le fond devient blanc, et la couleur de la feuille de papier semble vert bleu, et enfin jaune. La plupart de ces couleurs sont aussi distinctes et aussi nettes que celles des objets naturels. Si l'expérience est moins prolongée, et que la

feuille de papier soit moins éclairée, après qu'on se sera d'abord bien reposé les yeux en les tenant fermés suffisamment longtemps, on verra une série de couleurs un peu différente. Fechner, Seguin et Helmholtz ont vu la couleur blanche primitive devenir rapidement d'abord bleu verdâtre (verte pour Seguin), puis d'un beau bleu indigo; cette dernière couleur s'est ensuite changée en une teinte violette ou rose. Ces couleurs étaient brillantes et limpides, et ont été ensuite suivies d'une teinte orangée sale ou grisâtre; pendant l'existence de cette dernière teinte, le fond a changé du noir au blanc, et la teinte orangée s'est souvent transformée en vert jaune sale, qui termine la série. Si, au lieu d'un objet blanc, on prend un objet coloré sur fond gris, et qu'on le regarde fixement pendant quelque temps, pour l'enlever brusquement ensuite, le fond gris paraîtra teint d'une couleur complémentaire; par exemple, si l'objet est rouge,



Fig. 26. — Disque à secteurs blancs et noirs, donnant des couleurs subjectives.



Fig. 27. — Disque à spirales blanches et noires, donnant des couleurs subjectives.

l'image qu'il laissera après lui sera vert bleuâtre. Il est inutile d'insister plus longtemps en ce moment sur ces phénomènes, parce qu'une partie du chapitre XV leur sera spécialement consacrée. Dans les deux cas que nous avons cités plus haut, la couleur se développe après que les yeux sont fermés, ou au moins lorsqu'ils ne regardent plus la surface éclairée. Mais il y a des cas où des couleurs très vives peuvent être vues même pendant que les yeux sont exposés au grand jour. Si l'on prend un disque de carton divisé en secteurs alternativement blancs et noirs, comme celui que représente la figure 26, et qu'on le fasse tourner pendant qu'il est exposé au grand jour, on verra des couleurs après quelques essais. On verra qu'une certaine vitesse de rotation fait prendre au disque une teinte verte, et qu'en augmentant un peu la vitesse on obtient une teinte rose. D'après Helmholtz, on obtient très facilement ces effets en se servant d'un

disque blanc sur lequel est peinte une spirale noire, comme celle de la figure 27. On peut étudier ces phénomènes avec assez de facilité en suivant une méthode dont nous nous sommes servi il y a plusieurs années. Un disque noirci, avec quatre secteurs de sept degrés découpés dans le carton, tournait au moyen d'un mouvement d'horlogerie, et l'observateur regardait un ciel couvert à travers les ouvertures. Quand la vitesse du disque était de neuf tours par seconde, le ciel tout entier semblait souvent d'une teinte cramoisi foncé, sauf un petit point au centre du champ visuel, qui était presque toujours jaune. Avec une vitesse de onze tours et demi par seconde, le point central s'étendait un peu et se colorait en vert bleuâtre, avec un bord bleu pâle étroit, qui est indiqué sur la figure 28 par la ligne pointillée; le reste du ciel paraissait pourpre ou pourpre rougeâtre. Sauf



Fig. 28. — Couleurs subjectives vues sur le ciel à l'aide d'un disque tournant.

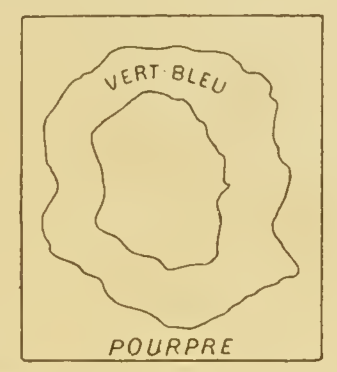


Fig. 29. — Couleurs subjectives, anneau, etc., vus sur le ciel à l'aide d'un disque tournant.

certaines variations du contour du point central, cette apparence se maintenait à peu près la même tant que la vitesse de rotation du disque ne variait pas. Quand cette vitesse s'accroissait, le point vert bleuâtre s'étendait et prenait la forme d'un anneau vert bleu irrégulier, qui remplissait presque tout le champ visuel lorsque la vitesse atteignait quinze tours par seconde (figure 29). Avec des vitesses encore plus grandes, toutes ces apparences disparaissaient, et l'on voyait le ciel de même qu'à l'œil nu [1]. On a fait bien des tentatives ingénieuses pour fonder sur les phénomènes de ce genre une théorie de la production des couleurs, bien qu'il soit facile de démontrer que dans tous les cas semblables le disque ne transmet pas de la lumière colorée, mais bien de la lumière blanche, et que les effets produits sont dus à

1. *American Journal of Science and Arts*, septembre 1860.

un état anormal de la rétine causé par l'action alternative de la lumière et de l'obscurité.

Un courant d'électricité aussi peut stimuler le nerf optique de manière à faire apercevoir des couleurs brillantes, bien que l'on opère dans une obscurité complète. D'après Ritter, le courant d'une pile énergique qui pénètre par le front pour se rendre à la main, fait apercevoir une couleur vert brillant ou bleu brillant, suivant que le courant positif entre par la main ou par le front. Helmholtz, qui a répété cette expérience, n'a aperçu qu'une série de diverses couleurs sans ordre appréciable. Mais le fait est important pour nous, parce qu'il prouve la possibilité de produire la sensation de couleur sans la présence ou l'action de la lumière.

Tout dernièrement, on a découvert une substance qui, lorsqu'on l'avale, fait paraître jaune verdâtre les objets blancs, et change les teintes des objets colorés. Les personnes qui sont sous l'influence de la santonine ne peuvent voir l'extrémité violette du spectre ; ce fait, avec d'autres encore, prouve qu'il y a là un véritable daltonisme momentané pour le violet.

Une observation faite par Tait, et d'autres que nous avons nous-même recueillies, prouvent qu'une commotion du système nerveux peut produire un daltonisme momentané pour la lumière verte. Les objets blancs semblent alors d'un rouge pourpré, et les objets verts prennent une teinte beaucoup plus terne qu'à l'ordinaire [1]. Ces effets sont fugitifs, bien qu'ils soient très intéressants au point de vue théorique, comme nous le verrons tout à l'heure.

Des recherches faites pendant ce siècle ont démontré qu'un grand nombre de personnes naissent avec une perception imparfaite des couleurs. Chez quelques-unes ce défaut est léger et presque insensible ; chez d'autres, au contraire, il est assez grave pour amener les plus étranges méprises. Cette imperfection de la vision est souvent héréditaire, et peut être partagée par plusieurs membres de la même famille. Chose remarquable, les femmes en sont relativement exemptes, même dans les familles où les hommes souffrent de ce défaut. Les occupations des femmes, l'attention qu'elles donnent à la toilette et aux divers ouvrages dont la couleur est un élément important, semblent avoir donné à leur perception des couleurs plus de

1. *American Journal of Science and Arts*, janvier 1877. Une observation semblable faite par Charles Pierce nous a été communiquée pendant que cet ouvrage était sous presse.

perfection qu'elle n'en a chez les hommes, qui négligent ordinairement de cultiver cette faculté. Sur quarante et un élèves de la même institution, Seebeck a trouvé cinq daltoniens; au contraire, pendant toutes ses recherches sur cette question, il n'a rencontré qu'un seul cas de daltonisme chez une femme. Il n'est pas rare que les personnes qui ont ce défaut restent des années entières sans s'en douter. C'était justement le cas de quelques-uns des jeunes gens examinés par Seebeck; et il arriva même une fois qu'un spectateur des expériences, en voulant aider un daltonien que l'on examinait, montra qu'il était lui-même daltonien, mais d'une autre catégorie! Le cas le plus ordinaire est celui où la perception du rouge est imparfaite. Les daltoniens de cette classe ne font aucune différence entre le rouge rose et le vert bleuâtre. Dans le spectre, ils ne voient que deux couleurs, qu'ils nomment jaune et bleu. Sous le nom de jaune, ils réunissent les espaces qu'occupent le rouge, l'orangé, le jaune et le vert; quant au bleu et au violet, ils leur donnent, sans commettre une erreur très forte, le nom de bleu. Au milieu du spectre se trouve pour eux une zone neutre ou grise, qui est incolore; d'après Preyer, cette zone est située près de la raie F. Pour l'œil normal, elle est bleu verdâtre; pour eux, elle est blanche. Le rouge extrême du spectre, lorsqu'il est faible, ils ne le distinguent pas; le reste de l'espace rouge leur paraît d'un vert saturé, mais peu lumineux; l'espace jaune a pour eux une couleur que nous appellerions vert brillant; enfin ils voient le bleu de la manière normale. Maxwell a constaté qu'à l'aide de ses disques, en se servant seulement de deux couleurs outre le blanc et le noir, il pouvait, en variant les proportions d'une manière convenable, reproduire pour eux toutes les couleurs qui se présentaient; l'œil normal, au contraire, exige au moins trois de ces disques colorés, outre le blanc et le noir. Ses expériences l'ont amené à conclure que les daltoniens perçoivent deux des trois couleurs fondamentales que voit un œil normal. Helmholtz est arrivé au même résultat. On peut rendre un œil normal incapable, dans une certaine mesure, de percevoir le rouge, en suivant la méthode employée par Seebeck en 1839 et plus tard par Maria Bokowa. Ces observateurs portaient pendant plusieurs heures des lunettes à verres rouge rubis, et cette action prolongée de la lumière rouge sur l'œil finissait par épuiser presque entièrement les fibrilles nerveuses destinées à la réception du rouge, de sorte qu'une fois les lunettes ôtées ils ne voyaient plus que deux couleurs dans le spectre. Maria Bokowa les appelait jaune et bleu.

En outre, le rouge extrême du spectre était invisible pour elle. comme il l'est pour les daltoniens qui ne perçoivent pas le rouge ; tous les objets rouges lui semblaient jaunes, et elle ne distinguait pas le rouge foncé du vert foncé ou du brun.

Le célèbre chimiste anglais Dalton était affligé de ce défaut de la vue, et c'est le premier qui l'ait décrit d'une manière exacte ; aussi cette affection a-t-elle reçu son nom. D'après les observations de Schelske et de Helmholtz, l'œil normal lui-même a des parties naturellement incapables de percevoir le rouge, et l'emploi de cette zone de l'œil donne les mêmes méprises dans l'appareillement des couleurs. Les expériences de ce genre sont assez difficiles à faire sans une grande habitude, parce qu'il faut regarder les objets colorés non pas directement, mais bien en tournant l'œil un peu de côté. Il y a un moyen simple pour les daltoniens qui ne perçoivent pas le rouge de se mettre à l'abri de certaines méprises chromatiques grossières. telles que celle de confondre le rouge et le vert. Le verre vert ne transmet pas la lumière rouge ; aussi, en regardant à travers une plaque de ce verre à la fois des objets verts et des objets rouges, les daltoniens eux-mêmes verront-ils que les objets rouges sont bien plus assombris que les objets verts. D'un autre côté. un verre rouge fait paraître plus sombres les objets verts, mais ne diminue pas la luminosité de ceux de sa couleur. Les teintes exactes des verres ont de l'importance, et il va sans dire qu'elles doivent être choisies avec le secours d'un œil normal.

Le genre de daltonisme que nous venons de décrire est assez commun, et on a calculé qu'en Angleterre environ une personne sur dix-huit en est plus ou moins atteinte. Nous allons maintenant parler d'une catégorie de cas qui sont plus rares. Les personnes de cette catégorie ne voient dans le spectre que deux couleurs, qu'elles appellent rouge et bleu. Elles placent la plus grande luminosité du spectre dans l'espace jaune, comme le fait l'œil normal ; elles distinguent facilement le rouge du violet, mais confondent le vert avec le jaune et le bleu avec le rouge. Deux sujets examinés par Preyer prenaient le jaune pour du rouge éclatant ; le même observateur a aussi constaté que dans le spectre, près de la raie *b*, les deux couleurs en lesquelles ces personnes partageaient le spectre étaient séparées par une petite zone neutre, qui leur semblait identique au gris. On n'a pas encore réuni un nombre suffisant d'observations pour pouvoir reconnaître avec certitude la nature exacte de l'imperfection visuelle

de ces daltoniens, mais il est probable que c'est la lumière verte qu'ils ne peuvent percevoir. Il existe aussi quelques observations de daltonisme momentané d'une troisième espèce, où l'extrémité violette du spectre semblait notablement raccourcie ; et, si ces cas provenaient d'une cause nerveuse plutôt que d'une coloration jaune plus foncée de la région axiale de la rétine, cela démontrerait l'existence d'un daltonisme violet.

Le daltonisme ou achromatopsie a une très grande importance au point de vue de la pratique, et ce défaut a sans doute été la cause d'accidents de chemin de fer. De 1873 à 1875, M. le Dr Favre, en France, a examiné mille cinquante employés de chemin de fer de divers grades, et a trouvé parmi eux quatre-vingt-dix-huit daltoniens, c'est-à-dire 9.33 pour 100. En 1876, M. le professeur Holmgren, en Suède, a examiné tout le personnel de la ligne d'Upsala-Gefle, et, sur deux cent soixante-six personnes, a trouvé treize daltoniens. Ceux-ci appartenaient à tous les degrés du service, et plusieurs d'entre eux avaient à se servir chaque jour de signaux de couleur. Chose singulière, jamais on n'avait soupçonné chez un seul de ces daltoniens l'existence de ce défaut visuel. Pour plus de détails sur le côté pratique de cette question, nous renvoyons le lecteur au mémoire d'Holmgren, qui se trouve dans le *Smithsonian Report* de 1877; il en existe aussi une traduction française.

Nous ne voulons pas quitter ce sujet sans dire quelques mots d'un cas très remarquable décrit par Huddart : il s'agit d'un cordonnier, homme intelligent, qui semblait n'avoir qu'une faible trace de la faculté de distinguer les couleurs entre elles [1]. D'après les observations, son daltonisme s'étendait à la fois au rouge et au vert, et il semble avoir eu à peine la perception des couleurs comme différant de l'ombre et de la lumière. Chose curieuse, des observations récentes de Woinow prouvent que même l'œil normal présente cette condition à la limite extrême du champ visuel : là, toute distinction des couleurs disparaît, et les objets semblent simplement blancs, noirs ou gris. Il est probable qu'entre l'état du cordonnier Harris, dont nous venons de parler, et celui d'un œil normal, doué de la faculté complète de percevoir et de distinguer les couleurs, on pourrait trouver un grand nombre de degrés intermédiaires. Les légères imperfections chromatiques de la vision n'attirent généralement pas l'attention, ou sont

1. *Philosophical Transactions*, LXVII.

expliquées de quelque autre façon. Nous nous rappelons le cas d'un excellent physicien qui se doutait bien, depuis un grand nombre d'années, qu'il était daltonien, mais aimait mieux expliquer ses méprises en supposant l'existence d'une différence dans la nomenclature des couleurs. Il finit cependant par examiner sérieusement la question, et reconnut qu'en réalité il était un peu daltonien pour le rouge. On a voulu expliquer l'infériorité du coloris de certains peintres d'ailleurs éminents en admettant qu'ils étaient affligés de daltonisme partiel; cette idée est plausible, mais elle nous semble totalement dénuée de preuves. Un grand nombre de personnes entendent distinctement toutes les notes dont on se sert en musique, et cependant n'ont ni goût ni talent pour cet art. D'un autre côté, nous avons entendu citer des personnes affligées de surdité partielle depuis leur enfance, qui sont cependant devenues musiciennes et même compositeurs. Il en est de la peinture comme de la musique : la possession d'un organe parfait n'est pas du tout une condition indispensable, et il est facile de prouver que même les peintres qui n'ont pas la perception du rouge peuvent néanmoins, sans grands secours extérieurs, produire des tableaux universellement estimés pour la beauté de leur coloris. Le champ de leurs opérations est, naturellement, plus borné, et ils sont forcés d'éviter certaines combinaisons chromatiques. Le soir, à la lumière du gaz ou d'une lampe, nous sommes tous plus ou moins dans l'état des personnes affligées de daltonisme pour le violet; et cependant, avec des précautions et de la patience, nous pouvons, même à ce moment, faire des ouvrages colorés qui résistent ensuite à l'épreuve du jour naturel. Il semble donc probable que la difficulté pour les coloristes inférieurs dont nous venons de parler, était moins anatomique ou physiologique que psychique.

Suivant une théorie récemment mise en avant par Hugo Magnus, notre sens de la couleur est en voie de développement depuis quatre ou cinq mille ans; avant cette période, le philosophe admet que notre race ne savait distinguer que la lumière et l'ombre. Les preuves qu'il en donne sont d'ordre philologique, et tendent à faire voir que les anciens distinguaient ou décrivaient les couleurs avec moins d'exactitude que les modernes. Le même genre de raisonnement pourrait servir à prouver que les enfants de nos jours sont presque privés de la faculté de distinguer les nuances, parce que d'ordinaire ils ne tiennent guère compte que des couleurs les plus intenses. Mais lorsque nous étudions les races préhistoriques qui existent encore sur la

globe, et qui vivent comme le faisaient leurs ancêtres, nous les trouvons tout aussi capables de discerner et d'aimer les couleurs. Si nous descendons bien plus bas, nous trouvons des animaux doués de la faculté de percevoir et même d'imiter avec exactitude une série de couleurs. Parmi eux nous pouvons citer le caméléon, comme l'a prouvé M. P. Bert, et aussi, d'après MM. Pouchet et A. Agassiz, certaines espèces de carrelets. La peau du caméléon est munie d'une multitude de vésicules pleines de liquides rouges, jaunes et noirs ; l'animal jouit de la faculté de distendre à volonté ces vésicules étoilées, de sorte qu'en quelques minutes (après une série d'essais) il réussit à assortir sa couleur à celle de la surface sur laquelle il se trouve. Son échelle chromatique comprend le rouge, l'orangé, le jaune et le vert olive, et les mélanges de ces couleurs avec le noir, ce qui donne nécessairement une série fort étendue de bruns. Le vert olive s'obtient par la distension de la vésicule jaune et de la vésicule noire, ce qui produit le même effet que la combinaison de deux disques, l'un noir et l'autre jaune (voy. chap. XII).

Comme fait du même ordre, M. A. Agassiz a souvent observé, en transportant un jeune carrelet d'un vase dont la couleur imitait celle d'un fond de sable dans un autre vase couleur chocolat foncé, qu'en moins de dix minutes les cellules à pigment noir acquéraient une grande prépondérance, et rendaient le carrelet bien différent de l'animal tacheté de gris jaunâtre qui, un instant auparavant, imitait avec une si rare perfection l'aspect du sable. Si on le transportait sur un fond de gravier, les *taches* de ses flancs devenaient proéminentes.

Si notre sens de la lumière et de l'ombre est ancien, tandis que celui de la couleur est récent et encore en voie de développement, il devrait peut-être falloir plus de temps pour distinguer les couleurs que les différences de lumière et d'ombre ; mais, d'après les expériences que nous avons faites, le temps nécessaire pour chacune de ces deux perceptions est quarante billionièmes de seconde [1].

En terminant ce chapitre, je citerai une expérience très-simple et en même temps très frappante, par laquelle tout le monde peut sans peine se mettre dans un état assez semblable à celui de Harris, et abolir en soi presque toute sensation de couleur. Lorsqu'on brûle un peu

1. C'est là le temps qu'exige la vision (*American Journal of Science*, septembre 1871).

de carbonate de soude dans la flamme d'un bec de Bunsen, il donne une lumière pure et homogène dont la teinte est jaune orangé. Cette lumière est bien assez brillante pour éclairer les objets qui se trouvent dans une chambre complètement obscure, mais elle efface toutes les différences de couleur, et ne laisse subsister que la lumière et l'ombre. Une rose rouge ne paraît pas plus colorée que ses feuilles; des bandes de papier peintes de couleurs voyantes paraissent seulement noires, blanches ou grises; il est impossible même d'en deviner les couleurs. Le visage de l'homme, privé de sa couleur naturelle, prend une apparence repoussante, et l'œil se porte sur les plus légers défauts que présente la surface de la peau. Si l'on met ensuite, à côté de la flamme sodique, une lampe à gaz ordinaire, et qu'on en tienne d'abord la flamme assez bas, les objets reprendront une faible partie de leurs teintes naturelles, et commenceront à se revêtir de quelques nuances agréables; celles-ci s'accroîtront peu à peu avec la lumière, jusqu'à ce qu'elles redeviennent d'une beauté radieuse. Ceux qui n'ont jamais assisté à une expérience de ce genre, ne se doutent pas de ce qu'ils perdraient en perdant le sens de la couleur ; ils ne savent pas combien le monde paraîtrait affreux sans le charme séducteur que les couleurs prêtent à tous les objets.

APPENDICE AU CHAPITRE VIII

Maxwell a publié en détail les observations minutieuses qu'il a faites sur un de ses élèves, affligé de daltonisme pour le rouge [1]. Dans ces observations il s'est servi d'un appareil qui permettait de mélanger en toutes proportions les couleurs pures du spectre ; c'était le daltonien lui-même qui faisait le mélange, en choisissant les proportions qui produisaient sur ses yeux l'effet du blanc. Ce procédé a donné l'équation suivante :

$$33,7 \text{ vert} + 33,1 \text{ bleu} = \text{blanc.}$$

Prenant ensuite les mêmes couleurs, Maxwell obtenait sa propre équation, c'est-à-dire l'équation normale, ainsi :

$$26 \text{ vert} + 37,4 \text{ bleu} + 22,6 \text{ rouge} = \text{blanc.}$$

En combinant ces deux équations par voie de soustraction, nous obtenons :

$$22,6 \text{ rouge} - 7,7 \text{ vert} + 4,3 \text{ bleu} = D,$$

1. *Philosophical Transactions* de 1860, vol. CL, p. 78.

D étant la couleur que ne voit pas le daltonien. Ainsi la sensation que Maxwell avait en plus de celles du daltonien était à peu près celle du rouge plein, avec cette différence qu'il fallait en soustraire 7,7 de vert et y ajouter 4,3 de bleu. D'après cette expérience, la couleur qui manquait au daltonien était un rouge cramoisi. Même les yeux bien constitués varient un peu, et, si cet examen avait été fait par le préparateur de Maxwell (l'observateur K), le résultat obtenu aurait été un rouge mélangé de moins de bleu, et par conséquent une couleur bien plus semblable au rouge du spectre. Par des expériences de ce

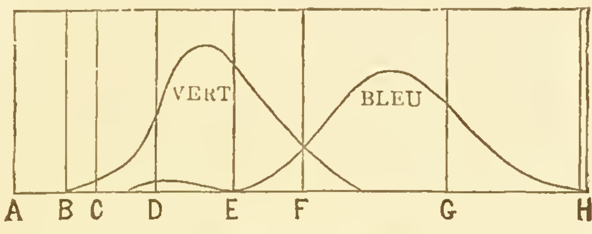


Fig. 30. — Courbes d'un daltonien (Maxwell).

genre, Maxwell a pu construire les courbes d'intensité des deux couleurs fondamentales que perçoivent ceux qui sont affligés de daltonisme du rouge ; ces courbes sont représentées sur la figure 30. Les lettres A, B, C, D, etc., marquent les positions des raies fixes du spectre solaire ; la courbe de gauche indique l'intensité de l'élément vert, et la courbe de droite celle du bleu ou du violet. On remarquera que la sensation du vert atteint son maximum à peu près à égale distance des

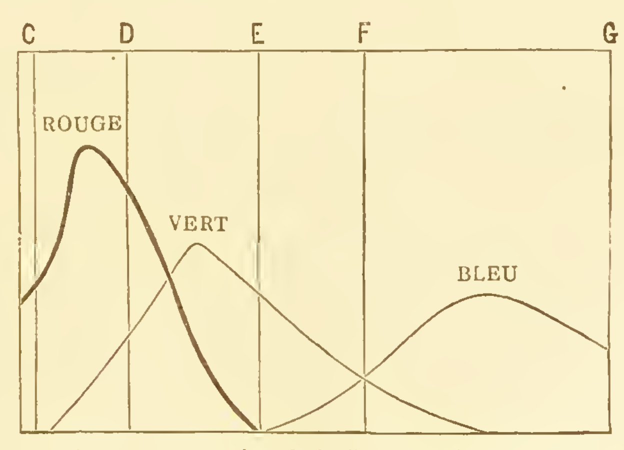


Fig. 31. — Courbes de l'œil normal (Maxwell).

raies D et E, c'est-à-dire dans le vert jaunâtre ; le point maximum de l'autre courbe est à peu près à égale distance de F et de G, c'est-à-dire dans l'espace bleu. Maxwell a aussi construit des courbes d'intensité semblables pour l'œil normal ; elles sont représentées sur la figure 31 : la courbe du rouge est indiquée par une ligne plus forte, et les deux autres comme ci-dessus. Les courbes du vert et du bleu ont à peu près

la même disposition que pour le daltonien, et le rouge atteint son maximum entre C et D, mais plus près de D, c'est-à-dire dans l'espace orangé rouge.

Maxwell a fait également sur le même daltonien une série d'observations à l'aide de disques colorés en mouvement rapide; et, d'après les équations de couleurs ainsi obtenues, il a marqué sur le diagramme de Newton les positions des couleurs perçues par le daltonien, en suivant les règles que nous indiquons dans l'appendice au chapitre XIV. Dans la figure 32, V indique la position assignée au vermillon, O celle du bleu d'outremer, et E celle du vert émeraude. Ces couleurs sont placées, d'après la méthode de Maxwell, aux trois sommets d'un triangle équilatéral. B serait la position du blanc pour un œil normal, et J celle du jaune de chrome. D est la position de la couleur qui manque, que Maxwell a pu imiter en mélangeant, par la méthode des disques rotatifs, 86 parties de vermillon et 14 de bleu d'outremer. La ligne DB

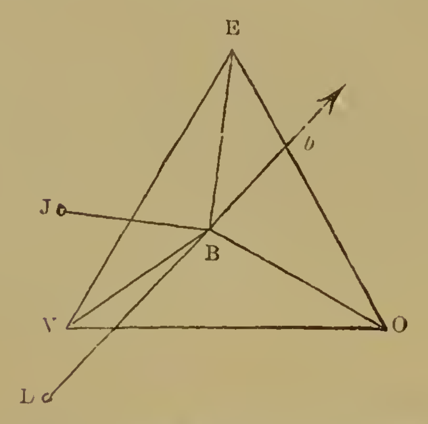


Fig. 32. — Diagramme de Newton pour un daltonien privé de la perception du rouge (Maxwell).

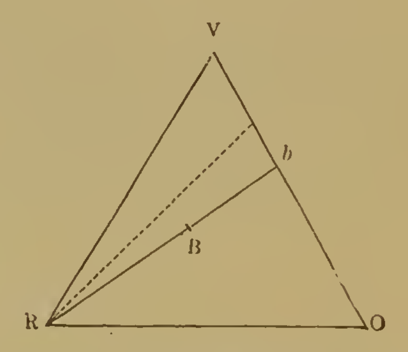


Fig. 33. — Diagramme de Newton pour un daltonien privé de la perception du rouge fondamental.

contient sur sa direction les différentes nuances de gris et le blanc des daltoniens. Le gris qu'ils perçoivent quand le vert et le bleu sont mêlés, se trouve en *b* ; le blanc du papier blanc, c'est-à-dire un gris plus lumineux, était sur la même ligne, mais bien plus en dehors.

Il n'est pas hors de propos d'ajouter ici une ou deux remarques sur la construction du diagramme de Newton pour les daltoniens. Supposons qu'on se serve des couleurs pures du spectre, et que la couleur manquante soit le rouge fondamental ; nous mettons alors le vert fondamental en V (fig. 33), le bleu ou violet fondamental en O, et le rouge qui manque, en R. Alors la ligne OV sera celle des mélanges de bleu et de vert; en *b* se trouvera le blanc du daltonien. Le long de la ligne RV seront situées les diverses nuances de vert, depuis le vert foncé jusqu'au vert clair, cette dernière couleur dominant à mesure que nous approchons de V. Le long de la ligne RO, nous aurons différentes nuances de bleu, depuis le bleu clair jusqu'au bleu foncé, la couleur

étant très foncée dans le voisinage de R et très claire près de O. Une ligne telle que la ligne pointillée contiendra diverses nuances de vert, depuis le vert clair jusqu'au vert foncé, mais sans qu'aucune soit aussi intense que celles qui sont situées sur la ligne RV ; en d'autres termes, elles seront toutes mélangées de ce que les daltoniens appellent du blanc.

Si l'on suppose que la sensation de couleur qui manque soit toujours celle du rouge, mais que son absence ne soit que partielle, le diagramme prend la forme que représente la figure 34, c'est-à-dire que le rouge, au lieu d'occuper un des sommets d'un triangle équilatéral, avancera vers le centre jusqu'en R′. Le blanc passera aussi de B à *b* ; ce blanc des daltoniens en question offrirait à l'œil normal une teinte d'un bleu un peu verdâtre. Entre R et R′ se trouvent, pour ainsi dire, des mélanges de rouge et d'obscurité, et le long de la ligne R′V seront divers mélanges de rouge et de vert, dans lesquels l'élément vert domine complètement pour l'œil normal, ce qui veut dire

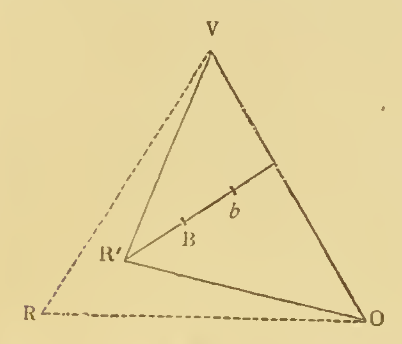


Fig. 34. — Diagramme de Newton pour un daltonien partiellement privé de la perception du rouge.

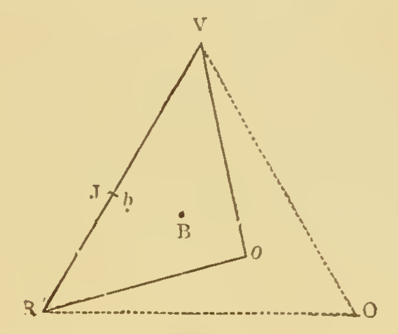


Fig. 35. — Diagramme de Newton pour l'éclairage à la lampe.

que l'orangé de ces daltoniens ressemble plutôt à notre jaune, leur jaune à notre jaune verdâtre, etc. Le long de la ligne R′O seront leurs mélanges de rouge et de bleu, ou une série de pourpres qui seront plus bleuâtres que les nôtres.

La figure 35 représente l'état de l'œil normal à la lumière d'une lampe. Le bleu ou le violet passe de O, sa position pour la lumière du jour, en *o* ; le blanc passe de B en *b*, c'est-à-dire dans une région qui, pour la lumière du jour, serait celle du jaune. Le jaune J lui-même n'est pas loin de cette nouvelle position du blanc, et par conséquent, à la lumière artificielle, paraît toujours blanchâtre. Dans les pourpres, sur la ligne R*o*, l'élément rouge domine ; enfin, dans les mélanges de vert et de bleu, sur la ligne V*o*, l'élément vert l'emporte.

Si nous étions daltoniens pour toutes les couleurs sauf le rouge, alors le diagramme des couleurs prendrait une forme semblable à celle que représente la figure 36, F représentant le rouge le plus foncé perceptible par les yeux ainsi constitués. Cette sensation serait déterminée par une lumière rouge pur faible, ou par un mélange de lu-

mière vert intense et de lumière bleue, ou par l'une ou l'autre de ces deux dernières. A mesure qu'on avance de F en R, la lumière rouge

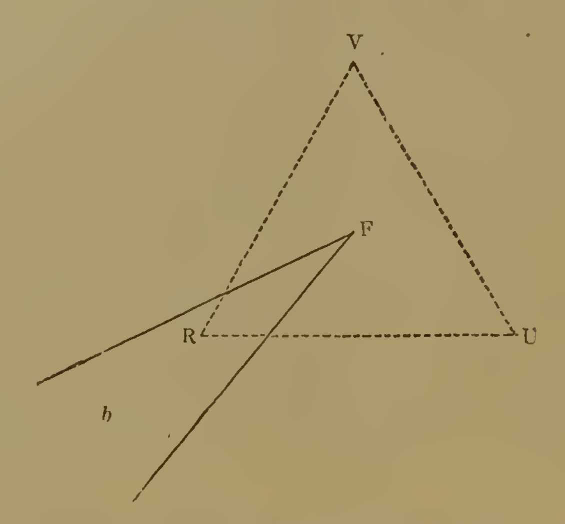


Fig. 36. — Diagramme de Newton pour les daltoniens privés de la perception du vert et du violet.

devient plus vive ; en *b*, elle atteint son apogée et remplace le blanc. Quand on met un verre rouge devant ses yeux, on obtient un effet qui approche de ce que nous venons de décrire.

CHAPITRE IX

THÉORIE DES COULEURS DE YOUNG ET DE HELMHOLTZ

Tous les peintres savent qu'avec un très petit nombre de matières colorantes on peut arriver à représenter toutes les couleurs d'une manière satisfaisante. Il suffit pour cela de trois poudres colorées, l'une rouge, l'autre jaune, et la troisième bleue : par exemple, de la laque cramoisie, de la gomme-gutte et du bleu de Prusse. Le rouge et le jaune mêlés en différentes proportions donneront diverses nuances d'orangé et de jaune orangé; le bleu et le jaune fourniront toute une série de verts; le rouge et le bleu, toutes les teintes pourpres et violettes. Il y a des peintres à l'aquarelle qui ne se sont servis que de ces trois couleurs, en y ajoutant du noir de fumée pour les assombrir et obtenir les bruns et les gris. Or, bien qu'il ne soit pas possible d'avoir ainsi une représentation aussi brillante des teintes de la nature qu'avec une palette moins économique, cependant on peut réellement produire de cette manière des équivalents plus ou moins satisfaisants. Il y a des siècles que ces faits sont connus des peintres, et ils ont servi de base à la théorie dite des trois couleurs primitives — rouge, jaune et bleu. Le plus célèbre défenseur de cette théorie dans les temps modernes a été David Brewster, si justement renommé pour ses belles découvertes en optique. Il soutenait qu'il y a trois sortes de lumière primitives ou fondamentales, la rouge, la jaune et la bleue, et que leur mélange en diverses proportions donnait toutes les autres espèces de lumière colorée, comme nous venons de le dire pour les matières colorantes. Brewster croyait en effet avoir démontré l'existence dans le spectre lui-même de ces trois sortes de rayons fondamentaux, et aussi l'absence de toutes les autres; et pendant plus de vingt ans sa grande réputation fit adopter cette manière de voir par presque tous les physiciens. Airy, Melloni et Draper furent les seuls opposants.

Cette théorie de l'existence de trois sortes de lumière fondamentales, rouge. jaune et bleue, se retrouve dans tous les traités de physique, sauf les plus modernes, et a été adoptée par presque tous les peintres. Cependant il ne serait pas difficile de faire voir qu'elle est tout à fait dénuée de fondement. Si nous envisageons la question à un point de vue théorique, nous ne tardons pas à conclure que ce ne peut être la vérité, parce que la couleur n'existe pas en dehors de nous, et n'es

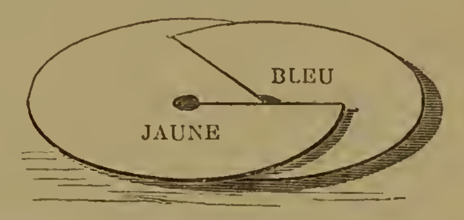


Fig. 37. — Disques de Maxwell. Disque bleu et disque jaune au mom où on les combine.

qu'une simple sensation, qui varie avec la longueur de l'onde à laquelle elle est due. En dehors de nous, la lumière ne consiste qu'en ondes, les unes longues, les autres courtes. c'est-à-dire en simples mouvements mécaniques. de sorte que la théorie de Brewster reviendrait à dire qu'il n'y a dans le spectre que trois sortes d'ondes, de trois longueurs différentes. et nous savons qu'il n'en est pas ainsi. Si nous étudions la question par la voie expérimentale, nous

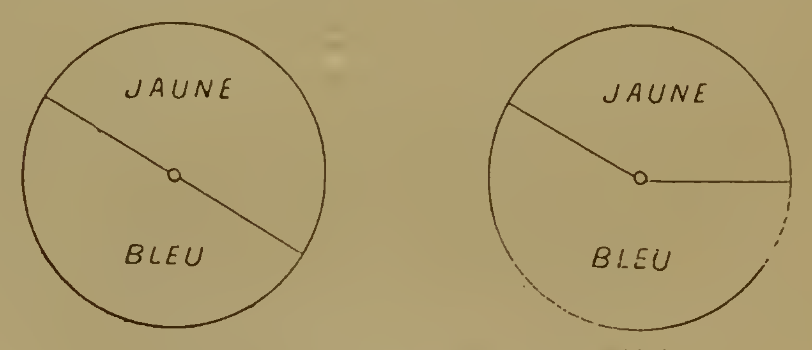


Fig. 38. — Disque bleu et disque jaune combinés.

n'arrivons pas à un meilleur résultat. D'après la théorie dont il s'agit, la lumière verte provient du mélange de la lumière bleue et de la lumière jaune. Pour vérifier ce point. on peut se servir des disques colorés de Maxwell. Un disque circulaire, peint en jaune de chrome et fendu suivant un de ses rayons, doit être combiné avec un autre disque également fendu et peint en bleu d'outremer. La figure 37 montre les disques séparés, et la figure 38 les montre combinés. Si

maintenant on fait tourner très rapidement le disque composé, les deux sortes de lumière colorée se mélangeront, et l'on pourra étudier la teinte qui en résultera. Ce ne sera pas du vert, mais bien un gris jaunâtre ou rougeâtre, suivant les proportions des deux couleurs mélangées. Ces disques de Maxwell sont disposés d'une manière ingénieuse, de manière à permettre à l'expérimentateur de mélanger les deux couleurs en toute proportion; mais, de quelque manière que nous fassions varier ces proportions, il est impossible d'obtenir pour résultante une teinte verte, ni même rien qui en approche. Il y a une autre manière de faire cette expérience : c'est simplement de prendre un morceau de verre à vitre de bonne qualité, comme l'ont fait Lambert et Helmholtz. La figure 39 représente le petit appareil

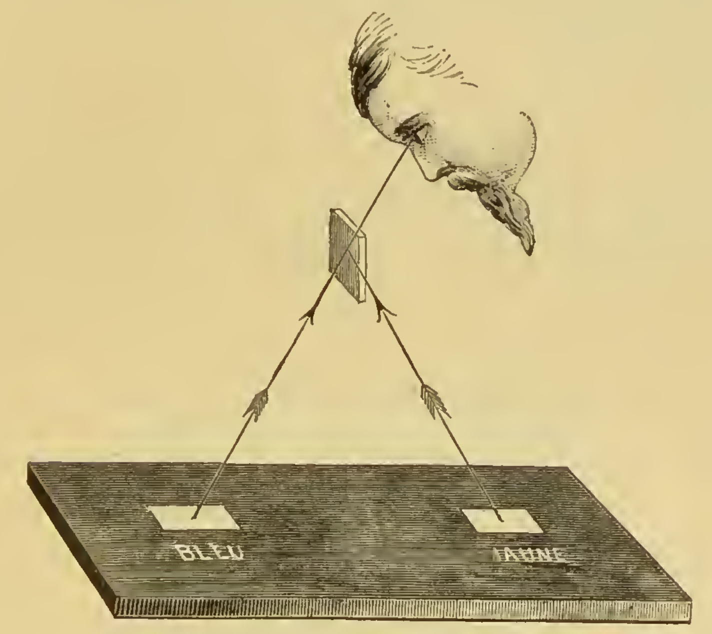


Fig. 39. — Appareil de Lambert pour le mélange de la lumière colorée

dont ils se sont servis. Le verre est soutenu dans une position verticale à environ 25 centimètres au-dessus d'une planchette peinte en noir, et les papiers colorés se trouvent chacun d'un côté du verre. L'opérateur regarde directement le papier bleu à travers le verre, et voit indirectement et par réflexion sur le verre la lumière partie du papier jaune. Il voit donc les deux images superposées, comme l'indique la figure 40. On peut toujours faire varier à volonté la luminosité ou l'éclat relatif des deux images : par exemple, en éloignant les

deux papiers l'un de l'autre, on fera prédominer le bleu, et, en les rapprochant, on produira l'effet inverse. De cette façon, on pourra faire passer la teinte résultante par un grand nombre de nuances, et ces nuances seront tout à fait d'accord avec celles qu'on a obtenues avec les deux disques circulaires; quant au vert, il ne se montrera pas plus que précédemment. Helmholtz a étudié cette question encore

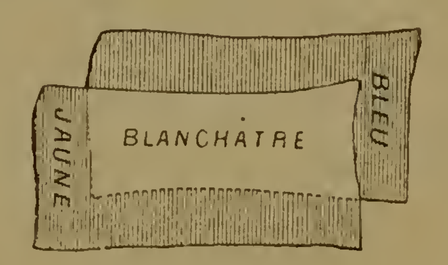


Fig 40. — Résultat donné par l'appareil de Lambert.

plus à fond, et a examiné les teintes que l'on obtient en combinant ensemble les couleurs pures du spectre. L'expérience suivante, qui est facile à faire, pourra nous donner une idée de la manière de procéder en pareil cas. On prend un écran de carton noirci, dans lequel on a pratiqué deux fentes étroites, disposées comme le représente la figure 41. Par ces deux fentes on fait arriver la lumière



Fig. 41. — Deux fentes disposées de manière à mélanger deux spectres.

qui entre par une fenêtre, de manière qu'elle tombe sur un prisme de verre que l'opérateur tient juste devant son œil, et à environ un mètre des fentes. Chaque fente fournit naturellement un spectre prismatique, et, par suite de la disposition des fentes, les deux spectres empiètent l'un sur l'autre, comme l'indique la figure 42, qui représente l'espace rouge d'un des spectres tombant sur l'espace vert de l'autre. En éloignant ou en rapprochant les fentes l'une de l'autre, on

peut arriver à mélanger ainsi toutes les sortes différentes de lumière que contient le spectre. Avec un appareil plus perfectionné, Helmholtz a prouvé que l'union de la lumière bleue pure avec la lumière jaune pure du spectre produit sur l'œil la sensation, non de la lumière verte, mais de la lumière blanche. Ces recherches l'ont conduit encore à d'autres résultats fort intéressants, dont nous nous occuperons dans le chapitre suivant; mais dès à présent nous sommes en droit de dire que le résultat de cette expérience porte nécessairement un coup mortel à l'hypothèse de Brewster. Helmholtz a aussi étudié la nature des apparences qui ont trompé le grand physicien anglais; il a cons-

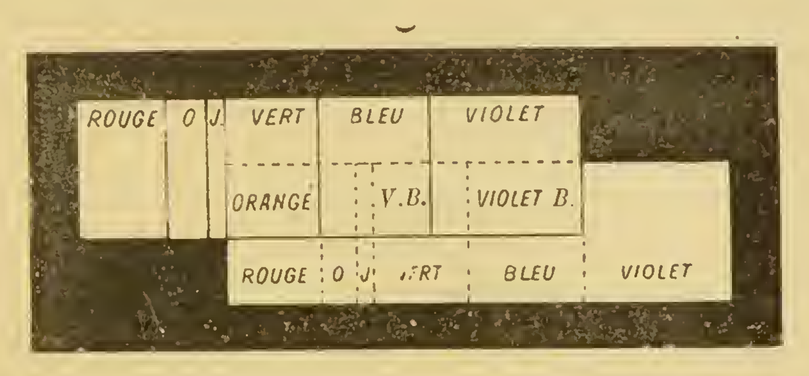


Fig. 42. — Deux spectres empiétant l'un sur l'autre : le rouge et le vert sont mélangés de même pour le violet et le bleu, etc.

taté qu'elles sont venues de ce qu'il s'était servi d'un spectre impur, c'est-à-dire d'un spectre qui n'était pas absolument exempt de lumière blanche étrangère.

Comme nous l'avons dit plus haut, l'existence, dans le sens objectif du mot, de trois couleurs fondamentales, ou de trois sortes primitives de lumière colorée, est impossible. Mais, dans un sens entièrement différent, quelque chose de ce genre est non seulement possible, mais encore très probable, comme l'indiquent les progrès récents faits par la science. Nous avons déjà vu dans un des chapitres précédents que l'œil peut distinguer dans le spectre solaire jusqu'à mille teintes différentes. Toutes les parties de la rétine, quelque petites qu'elles soient, même au point de devenir presque invisibles, jouissent de cette propriété, ce qui nous amène à nous demander si chaque atome de la rétine ne possède pas un nombre immense de fibrilles nerveuses, pour recevoir et transmettre cette multitude infinie de sensations. Le célèbre Thomas Young a adopté une autre manière de voir : selon lui, chaque élément infiniment petit de la rétine peut

recevoir et transmettre trois sensations différentes; ou bien nous pouvons dire que chaque élément de la surface rétinienne possède trois fibrilles nerveuses, destinées à recevoir trois sensations. Une catégorie de ces nerfs est sensible à l'action des ondes lumineuses longues, et produit la sensation à laquelle nous donnons le nom de rouge ; une seconde catégorie est surtout sensible à l'action des ondes de moyenne longueur, qui produisent la sensation à laquelle nous donnons le nom de vert; et enfin la troisième catégorie est énergiquement stimulée par les ondes courtes, et détermine la sensation connue sous le nom de violet. Par conséquent, le rouge du spectre agit puissamment sur la première série de ces nerfs; mais, d'après la théorie de Young, il agit aussi sur les deux autres séries, quoique avec moins d'énergie.

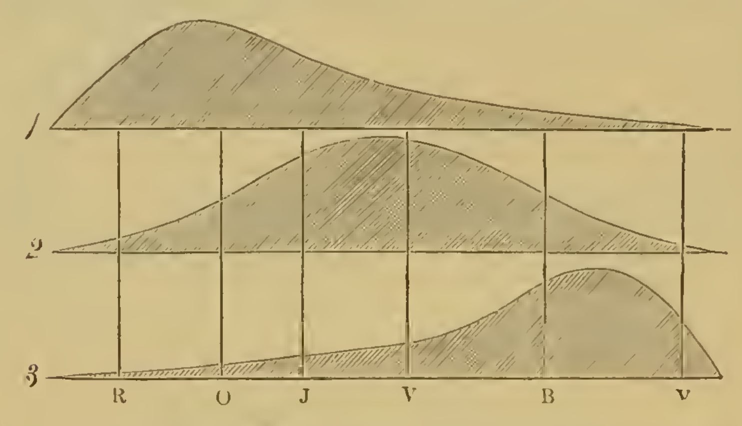


Fig. 43. — Courbes représentant l'action des différentes couleurs du spectre sur les trois catégories de fibrilles nerveuses (Helmholtz).

Il en est de même des rayons verts et des rayons violets du spectre : chaque espèce agit sur les trois catégories de nerfs, mais son action est bien plus énergique sur celle qui est spécialement destinée à la recevoir. On comprendra encore mieux ce que je veux dire en considérant la figure ci-jointe, que nous empruntons au grand ouvrage de Helmholtz sur l'*Optique physiologique*. Dans la figure 43, le long des lignes horizontales 1, 2, 3, sont placées les couleurs du spectre dans l'ordre où elles se suivent naturellement, et les courbes qui sont au-dessus de ces lignes indiquent le degré d'énergie avec lequel les trois catégories de nerfs sont stimulées par ces couleurs. Nous voyons, par exemple, que les nerfs de la première espèce sont énergiquement stimulés par la lumière rouge, le sont bien moins par la lumière jaune, encore moins par la lumière verte, et très peu par la lumière violette. Les nerfs de la seconde espèce sont très sensibles

à l'action de la lumière verte, le sont moins à celle du jaune et du bleu, et le sont moins encore à celle du rouge et du violet. Les nerfs de la troisième espèce subissent facilement l'influence de la lumière violette, et se laissent de moins en moins influencer par les autres espèces de lumière, dans l'ordre suivant : bleu, vert, jaune, orangé, rouge. Le second point de la théorie de Young, c'est que, si l'on stimule à la fois avec à peu près la même énergie les trois catégories de nerfs, on obtiendra la sensation à laquelle nous donnons le nom de blanc. Tels sont les points principaux de la théorie de Young, qui a été publiée en 1802, et développée par son auteur en 1807. Helmholtz a, depuis quelques années, appelé l'attention sur cette théorie, et c'est surtout grâce à ses travaux et à ceux de Maxwell qu'elle est maintenant remise en lumière. Avant de discuter les preuves sur lesquelles elle s'appuie et les conséquences qu'on en peut tirer, il est bon de se rappeler, comme Helmholtz le fait observer, que le choix de ces couleurs particulières, rouge, vert et violet, est un peu arbitraire, et que l'on pourrait choisir trois couleurs quelconques, pourvu que, mélangées ensemble, elles donnassent de la lumière blanche. Cependant, si les couleurs des extrémités et du milieu du spectre (rouge, violet et vert) ne sont pas choisies, alors l'une des trois devra avoir deux maxima, l'un dans le rouge et l'autre dans le violet; c'est là une hypothèse plus compliquée, mais qui n'est pas inadmissible. La seule méthode connue pour décider la question, c'est l'examen de daltoniens. Dans le chapitre précédent, nous avons fait voir que la variété la plus ordinaire de cette affection est celle qui porte sur le *rouge*, fait qui signale cette couleur comme étant une des trois sensations fondamentales. Mais, si nous adoptons le rouge pour une de nos trois couleurs fondamentales, les deux autres seront nécessairement le vert et le violet ou le violet bleu. Le rouge, le jaune et le bleu, par exemple, ne donnent pas de la lumière blanche quand on les mélange; jamais non plus ils ne peuvent fournir de vert. Le rouge, l'orangé et le bleu ou le violet ne formeraient pas davantage une triade fondamentale. Dans le chapitre précédent, nous avons également fait voir que le daltonisme du vert existe dans une certaine mesure, quoiqu'il soit bien plus rare que l'autre. Ainsi, jnsqu'à présent, l'étude du daltonisme a donné des preuves en faveur des idées de Young, et ses phénomènes semblent pouvoir s'expliquer par cette théorie.

Voyons maintenant comment la même théorie explique la produc-

tion des sensations des couleurs suivantes, qui ne sont pas fondamentales :

Rouge orangé.	Jaune.	Vert bleuâtre.
Orangé rouge.	Jaune verdâtre.	Bleu cyané.
Jaune orangé.	Vert jaunâtre.	Bleu d'outremer.

Commençons par le jaune : nous savons que, d'après la théorie qui nous occupe, il devrait être produit par la stimulation simultanée des nerfs du rouge et de ceux du vert ; par conséquent, si nous présentons en même temps à l'œil de la lumière rouge et de la lumière verte, la sensation produite devra être ce que nous appelons le jaune. La meilleure manière de faire l'expérience, c'est de mêler la lumière rouge et la lumière verte du spectre ; on arrive de cette façon à produire une teinte jaune satisfaisante. La méthode des disques tournants nous fournit, lorsque nous employons le vert émeraude et le vermillon, un jaune qui semble un peu terne pour deux raisons : la première, c'est que les matières colorantes que nous appelons jaunes, telles que le jaune de chrome ou la gomme gutte, sont, comme nous le montrerons plus loin, relativement plus brillantes et plus lumineuses que n'importe quelle des couleurs rouges, vertes, bleues ou violettes, de sorte que ces jaunes brillants forment une classe tout à fait à part. Cette circonstance influe sur notre jugement, et, quand nous trouvons le jaune donné par l'expérience bien moins brillant que le jaune de chrome, qui est en réalité un type exagéré, nous sommes désappointés. La seconde raison, c'est que la lumière verte stimule, comme nous l'avons déjà dit, les nerfs du violet, de même que ceux du vert, d'où il suit que les trois séries de nerfs entrent en action d'une manière très appréciable, et que la sensation du blanc vient se mêler à celle du jaune, ce qui rend ce dernier moins intense qu'il ne le serait sans cela. Lorsque nous mêlons ensemble le vert et le rouge du spectre, nous ne nous trouvons pas en présence d'un type inexact, et la seconde raison seule entre en jeu, et donne au jaune que nous obtenons l'air d'être mélangé avec une certaine quantité de blanc. Le regretté J.-J. Müller avait reconnu que la lumière verte mélangée à toute autre lumière colorée du spectre en diminue la saturation, et produit le même effet que si l'on y avait ajouté en même temps de la lumière blanche. C'est là ce que notre diagramme fondamental (fig. 43) nous indique en effet ; et ce résultat est parfaitement d'accord avec la théorie de Young et de Helmholtz.

Après avoir ainsi expliqué comment il se fait que le jaune obtenu par le mélange de la lumière rouge et de la lumière verte ne soit pas très brillant, il nous sera facile de montrer comment se produisent plusieurs des autres sensations de couleur. Si, par exemple, nous diminuons l'intensité de la lumière verte dans l'expérience que je viens de citer, la teinte résultante passera du jaune à l'orangé, à l'orangé rouge, au rouge orangé et enfin au rouge pur. La meilleure manière de suivre ces changements, c'est d'opérer avec la lumière colorée du spectre; mais on peut aussi les obtenir au moyen des disques de Maxwell (fig. 38), ou à l'aide de la plaque de verre de Helmholtz (fig. 39). D'un autre côté, si dans l'expérience qui nous occupe nous faisons prédominer la lumière verte, la teinte jaune résultante passera au jaune verdâtre, au vert jaunâtre et enfin au vert. Ceci explique la production de plus de la moitié des sensations de couleur qui composent la liste ci-dessus; quant aux couleurs restantes, telles que l'outremer, le bleu cyané et le vert bleuâtre, elles peuvent s'obtenir de la même façon en mélangeant dans des proportions convenables la lumière verte et la lumière violette, par n'importe laquelle des méthodes déjà indiquées.

Dans les expériences dont nous nous sommes occupé jusqu'ici, nous avons présenté à l'œil des mélanges de deux espèces différentes de lumière colorée ou, pour parler plus exactement, de deux espèces de lumière qui diffèrent par leurs longueurs d'onde; il nous reste maintenant à expliquer la production des sensations de couleur dans les cas où l'œil n'est stimulé que par une seule espèce de lumière colorée, c'est-à-dire par de la lumière n'ayant qu'une seule longueur d'onde. S'il s'agit de lumière rouge, verte ou violette, l'explication va de soi : la lumière rouge stimule énergiquement les nerfs du rouge et détermine la sensation à laquelle nous donnons le nom de rouge, et ainsi de suite pour les autres. Mais ceci ne résout pas toute la difficulté; car, d'après la théorie de Young et de Helmholtz, cette même lumière rouge exerce aussi une certaine action sur les nerfs du vert et du violet, et détermine en même temps, à un faible degré il est vrai, les sensations auxquelles nous donnons les noms de vert et de violet. D'après la théorie, le résultat devrait donc être la production d'une sensation énergique de rouge, mêlée de sensations beaucoup plus faibles de vert et de violet; ou, en d'autres termes, même lorsque l'œil est stimulé par la lumière rouge pure du spectre, cette lumière rouge devrait sembler mélangée d'un peu de lumière blanche, quand même celle-ci ne se trouverait pas réellement présente.

L'expérience confirme cette conclusion théorique, et ici encore se montre favorable à l'exactitude de la théorie. La manière la plus simple de faire cette expérience serait d'enlever momentanément, si cela était possible, les nerfs du vert et du violet d'une partie de la rétine de l'œil, et ensuite de faire tomber sur la rétine tout entière la lumière rouge pure du spectre. Cette lumière rouge devrait alors paraître plus intense et plus saturée lorsqu'elle tomberait sur le point d'où les nerfs du vert et du violet auraient été enlevés que lorsqu'elle serait reçue sur le reste de la rétine, où existeraient les nerfs des trois espèces. Or, quoique nous ne puissions pas réellement enlever les nerfs du vert et du violet d'un certain point de la rétine, cependant nous pouvons, en employant des moyens convenables, fatiguer ou épuiser momentanément ces nerfs, de manière à les rendre presque entièrement insensibles. Si nous exposons pendant quelques instants un petit point de la rétine à l'action d'un mélange de lumière verte et de lumière violette combinées de manière à paraître vert bleuâtre, les nerfs du vert et ceux du violet deviendront réellement presque inertes ; et, si l'on dirige alors brusquement l'œil vers le rouge du spectre, ce point de la rétine éprouvera une sensation de rouge plus puissante et plus pure que les parties voisines, dont les nerfs n'ont pas été fatigués, et où le rouge semblera étendu d'une certaine quantité de lumière blanche. Cette expérience de Helmholtz montre donc qu'il est réellement possible de produire par des moyens artificiels des sensations de couleurs encore plus puissantes que celles déterminées en général par la lumière du spectre ; c'est là un point sur lequel nous reviendrons dans le chapitre suivant.

Maintenant que nous avons expliqué la production des sensations du rouge, du vert et du violet par la lumière rouge, verte et violette, et que nous avons constaté un fait intéressant qui se rapporte à cette question, nous passons aux autres couleurs. Si nous prenons le jaune du spectre, nous voyons qu'il peut être produit par l'action qu'exercent sur l'œil les ondes lumineuses dont la longueur tient le milieu entre celles qui déterminent les sensations de rouge et de vert. Ces ondes sont trop courtes pour agir très énergiquement sur les nerfs du rouge, et trop longues pour donner le maximum d'activité aux nerfs du vert ; mais elles donnent à ces deux sortes de nerfs une activité moyenne, et le résultat de leur action combinée est une nouvelle sensation, à laquelle nous donnons le nom de jaune. Nous pouvons dire en outre que la longueur des ondes de la lumière appelée jaune ne leur permet d'agir qu'assez faiblement sur les

nerfs du violet : l'effet produit sur ces derniers est moindre que celui de la lumière verte. Il en résulte que la sensation du jaune, lorsqu'elle est amenée directement par la lumière jaune du spectre, est moins mêlée de celle du blanc, et est plus pure que lorsqu'on l'obtient en mélangeant la lumière rouge avec la lumière verte, comme nous l'avons indiqué plus haut. Et cette explication montre pourquoi il est impossible, avec des mélanges de la lumière rouge et de la lumière verte du spectre, de produire une lumière jaune aussi pure et aussi brillante que le jaune du spectre. Supposons maintenant que, au lieu de présenter à l'œil le jaune du spectre, nous le stimulions à l'aide de la lumière d'un des autres espaces du spectre — du bleu, par exemple. L'explication est presque identique à celle que nous venons de donner pour le jaune : les ondes de la lumière bleue étant trop courtes pour stimuler énergiquement les nerfs du vert, et trop longues pour le faire sur les nerfs du violet, ces deux catégories de nerfs ne sont stimulées que d'une manière modérée, et donnent la sensation que nous appelons le bleu. D'ailleurs la lumière bleue exerce une très faible action sur les nerfs du rouge, de sorte que très peu de la sensation du blanc se mêle à celle du bleu ; et par conséquent cette teinte bleue est plus saturée que quand elle provient du mélange de la lumière verte avec la lumière violette. Et, en effet, J.-J. Müller a constaté que la lumière verte, quand on la mélange avec celle de toute autre région du spectre, donne une lumière moins saturée et plus blanchâtre que la teinte correspondante du spectre imitée par le mélange. La production de toutes les autres sensations de couleur obtenues en regardant le spectre s'explique de même par notre théorie. De tous ces faits nous pouvons conclure qu'il existe deux manières distinctes de produire la même sensation de couleur ; en effet, nous avons vu qu'on y arrive soit en présentant à l'œil un mélange de lumière verte et de lumière violette, soit en lui présentant simplement une seule espèce de lumière, dont la longueur d'onde est intermédiaire entre celles du vert et du violet. L'œil est tout à fait incapable de discerner cette différence d'origine, bien qu'un prisme la révèle sur-le-champ.

Après avoir ainsi examiné, avec une minutie qui aura pu sembler fatigante à quelques lecteurs, la manière dont la théorie de Young et de Helmholtz explique les sensations de couleur, nous passons à un autre point. Pour donner plus d'exactitude à cette théorie, il est indispensable de définir d'une façon bien nette les trois couleurs fondamentales, car il existe une grande variété de rouges, de verts et de

violets. A la suite de ses premières recherches, Helmholtz choisit un rouge assez voisin de l'extrémité du spectre, un vert et un violet bien nets; en d'autres termes, les teintes qu'il choisit furent les couleurs du milieu et des extrémités du spectre. Maxwell, qui a fait toute une série de belles recherches sur les questions qui se rattachent à la théorie de Young, a été amené à prendre pour couleur fondamentale un rouge qui, dans le spectre, est situé entre les raies fixes C et D, et à une distance de C juste égale au tiers de la distance totale CD. C'est un rouge écarlate avec une nuance d'orangé, assez bien représenté par certaines variétés de vermillon. Son vert est situé entre E et F, à une distance de E égale au quart de la ligne EF. Parmi les couleurs employées en peinture, celle qui approche le plus de cette teinte est le vert émeraude. Au lieu d'adopter un violet franc, Maxwell a choisi un bleu violet, à égale distance des raies F et G, qui est assez bien représenté par le bleu d'outremer artificiel. En soumettant au calcul les résultats des expériences faites sur le spectre, on peut déterminer la position d'une des couleurs fondamentales, c'est-à-dire du vert. Ainsi Charles S. Pierce, avec les données fournies par le mémoire de Maxwell, a obtenu pour cette couleur un résultat très peu différent de celui que nous venons d'indiquer [1]. D'après ses calculs, le vert fondamental a une longueur d'onde de 524 dix-millioniémes de millimètre, et se trouve entre les raies E et *b*, au tiers de la distance totale E*b*, tandis que le vert de Maxwell est juste au delà de *b*. J.-J. Müller, qui a fait sur ce sujet des recherches pleines d'intérêt, par une autre méthode, est arrivé à un résultat un peu différent pour la position du vert, et lui a assigné une longueur d'onde de 506,3 dix-millioniémes de millimètre. Cette position dans le spectre est plus près du bleu que les positions assignées au vert par Maxwell et Pierce, et la teinte est d'un vert plus bleuâtre. D'un autre côté, Von Bezold, appuyant ses calculs sur les résultats expérimentaux de Helmholtz et de J.-J. Müller, est arrivé à une conclusion peu différente de celles de Maxwell ou de Pierce. Il choisit un vert *au milieu* du spectre normal, entre E et *b*, mais plus près de *b*. Il n'y a pas une très grande différence entre tous ces résultats; en réalité, il serait assez difficile de bien l'indiquer sur un spectre de la grandeur de cette page. On peut imiter tous ces verts à l'aide de la couleur nommée vert émeraude, en la prenant seule

1. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 1873.

ou mélangée soit avec un peu de jaune de chrome, soit avec du bleu de cobalt. Aussi toutes ces nuances de vert ont-elles la teinte la plus puissante, ou, pour parler comme les peintres, la plus écrasante.

La détermination exacte des deux autres couleurs fondamentales est une question plus difficile, de sorte que même les partisans de la théorie de Young ne sont pas entièrement d'accord sur ces couleurs : Maxwell prend le bleu d'outremer, Helmholtz et J.-J. Müller prennent le violet pour troisième couleur fondamentale. Ces couleurs fondamentales sont au nombre des plus saturées et des plus intenses que présente le spectre. Auprès d'elles, le bleu du spectre est une teinte faible, à tel point que Rutherfurd dit souvent qu'en comparaison des autres couleurs il paraît d'une teinte ardoisée. Le jaune verdâtre aussi est faible; et, comme on le sait, le jaune pur n'existe dans le spectre qu'en très petite quantité et avec une intensité médiocre. Le jaune orangé est aussi beaucoup plus faible que le rouge, et l'orangé ne devient intense qu'en se rapprochant du rouge. De tout cela il résulte très naturellement que, si l'on projette un spectre normal sur une muraille blanche dans une chambre d'où toute lumière n'a pas été soigneusement exclue, on ne distinguera guère que les trois couleurs fondamentales, le rouge, le vert et le violet bleu; les autres teintes peuvent être discernées avec une certaine difficulté, mais à première vue elles frappent l'observateur qui n'a point de parti pris, comme étant simplement les régions où les trois principales couleurs se mélangent. Parmi les matières colorantes aussi, celles qui représentent les trois couleurs fondamentales sont également celles qui surpassent toutes les autres en intensité et en saturation. Une des couleurs fondamentales, le rouge, est d'un emploi facile pour la peinture et la décoration; les autres sont plus difficiles à manier, surtout le vert. Cette dernière couleur, même lorsqu'elle est adoucie, est d'un maniement difficile en peinture, et un grand nombre d'artistes l'évitent autant que possible, ou l'admettent dans leurs tableaux seulement à l'état de vert olive de diverses nuances. Lorsque la teinte se rapproche du vert fondamental, et qu'en même temps elle est intense, elle devient à la fois dure et brillante, et tire l'œil d'une manière désagréable.

NOTES

Young ne semble pas être le premier qui ait proposé le rouge, le vert et le violet comme couleurs fondamentales. Dès l'année 1792, Wünsch

fut amené au même résultat par ses expériences sur le mélange des rayons colorés du spectre. Son ouvrage est intitulé *Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichtes* (Leipsic, 1792). Un résumé de ce travail est contenu dans les *Annales de chimie*, vol. LXIV, p. 135.

Tout récemment, M. A.-M. Mayer a appelé l'attention sur la manière dont Young a été amené à adopter pour couleurs fondamentales le rouge, le vert et le violet, et il a fait voir, en premier lieu, que Young a d'abord choisi le rouge, le jaune et le bleu, comme étant les trois sensations de couleur simples ; en second lieu, qu'il a plus tard modifié son hypothèse et adopté comme sensations de couleur élémentaires le rouge, le vert et le violet, déclarant que, jusqu'à l'époque de ce changement d'avis, toutes ses idées sur cette question étaient purement hypothétiques, et ne s'appuyaient ni sur ses propres observations ni sur celles des autres ; en troisième lieu, que ce changement d'avis au sujet des trois couleurs élémentaires avait pour base une erreur d'interprétation faite par Wollaston sur la nature de sa célèbre observation des raies sombres du spectre solaire, et aussi une observation erronée faite par Young en répétant l'expérience de Wollaston ; enfin que Young avait plus tard soumis à l'expérience son hypothèse sur la sensation de couleur, et l'avait trouvée d'accord avec les faits, de sorte que ces expériences justifiaient son hypothèse et l'élevaient au rang de théorie. » (*American Journal of Science and Arts*, avril 1875.)

La figure 43 (p. 94) montre les intensités des trois sensations fondamentales — rouge, vert et violet — telles que Helmholtz les a *évaluées*. Maxwell a plus tard mesuré ces intensités, et a reconnu qu'elles va-

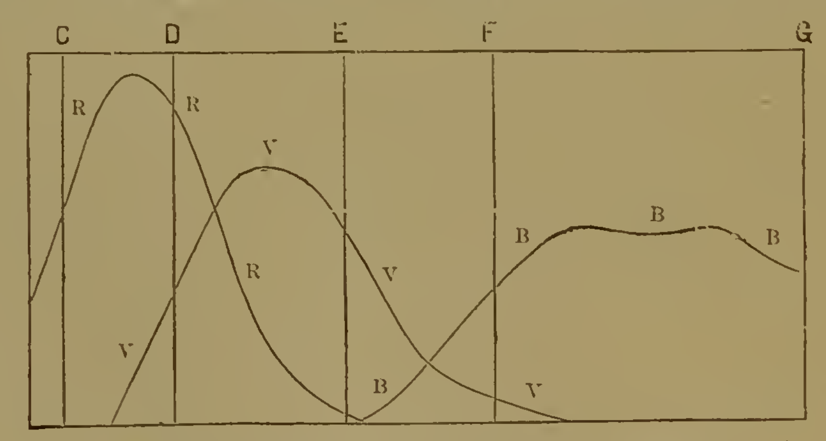


Fig. 44. — Courbes représentant l'intensité des sensations fondamentales déterminées par les différentes parties du spectre solaire (Maxwell).

rient légèrement selon les observateurs. Dans la figure 44, les lettres C, D, E, F et G indiquent les raies fixes du spectre solaire ; la courbe RRR, l'intensité de la sensation de rouge dans les différentes régions du spectre ; VVV est la courbe de la sensation de vert, et BBB celle du bleu violet. La figure 31 (p. 85) représente les mêmes courbes obtenues par un autre observateur (*Philosophical Transactions* de 1860, vol. CL).

CHAPITRE X

DU MÉLANGE DES COULEURS

Ceux qui ont regardé travailler un peintre sont étonnés du nombre et de la variété considérables des teintes que l'on peut obtenir en mélangeant en diverses proportions un très petit nombre de couleurs : le rouge et le jaune donnent une longue série de teintes orangées; le jaune et le bleu fournissent une multitude de teintes vertes; le bleu et le rouge, toute une série de pourpres. Les résultats que le peintre obtient semblent presque magiques, et nous admirons avec raison l'habileté et l'expérience qui lui permettent de produire avec exactitude, en quelques secondes, n'importe laquelle des couleurs que peut donner sa palette. Si nous poursuivons nos observations, nous reconnaîtrons bientôt que la question est plus compliquée que nous ne l'avons cru au premier abord, chaque couleur ayant ses propriétés particulières, qu'elle communique aux mélanges dont elle fait partie, propriétés que la couleur elle-même ne suffit pas pour indiquer complètement. Par exemple, certaines couleurs bleues fournissent de belles séries de verts, tandis que d'autres, qui ne leur cèdent ni en éclat ni en intensité, ne donnent que des verts olive ternes; certains rouges donnent des pourpres éclatants, tandis que d'autres non moins brillants ne produisent que des pourpres ternes et ardoisés. Avant de traiter ces cas compliqués, nous ferons bien d'étudier la question sous ses aspects les plus simples, et nous nous contenterons pour le moment d'examiner les effets que produit le mélange de *lumières* de différentes couleurs. Cette étude ne peut se faire en mélangeant des matières colorantes, comme on l'a cru fort longtemps. Dans certains cas, le mélange des matières colorantes donne des résultats plus ou moins semblables à ceux que produit le mélange des lumières colorées; mais en général les résultats diffèrent, et quelquefois même

à un point extrême. Ainsi, dans le chapitre précédent, nous avons fait voir que, tandis que le mélange d'une couleur jaune avec une couleur bleue donne invariablement une teinte verte d'une intensité variable, le mélange de la lumière bleue avec la lumière jaune donne un blanc plus ou moins pur, mais ne donne jamais rien qui approche du vert. Il est facile de mélanger ensemble deux faisceaux de lumière colorée de manière à montrer l'expérience à un nombreux auditoire. Pour cela, il faut se servir de deux lanternes magiques, comme l'indique la figure 45, en remplaçant les plaques de verre ordinaire par des plaques de verre de couleur, comme le montre la figure. Chaque

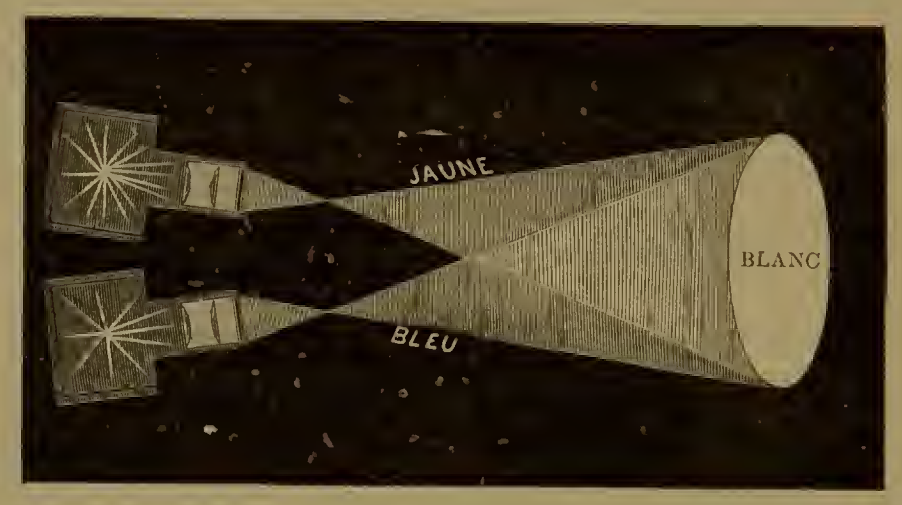


Fig. 45. — Deux lanternes magiques projetant de la lumière jaune et de la lumière bleue sur le même écran, où elles forment de la lumière blanche.

lanterne fournira alors un grand cercle brillant de lumière colorée, que l'on peut projeter sur un écran blanc, après avoir rendu obscure la salle dans laquelle on fait l'expérience. On pourra reconnaître ainsi que la lumière bleu violet mélangée avec la lumière verte donne une lumière bleue ou bleu verdâtre, selon les proportions des deux éléments; que la lumière verte combinée avec la lumière rouge donne diverses nuances d'orangé ou de jaune blanchâtre, au lieu d'une série de nuances ternes et indescriptibles d'un gris verdâtre, rougeâtre ou brunâtre, comme le font les matières colorantes. On peut facilement faire ces belles expériences sur le mélange des lumières colorées, et bien d'autres encore; on peut même étudier sans peine les effets que donnent les variations d'intensité de l'un ou de l'autre faisceau de lumière colorée, en diminuant graduellement l'éclat de l'un des cercles colorés, tandis que l'autre demeure constant.

On objectera peut-être à toutes ces expériences que la lumière dont nous nous servons n'est pas assez pure ; que notre verre jaune transmet, comme on l'a vu au chapitre VII, non seulement de la lumière jaune, mais encore de la lumière rouge, de la lumière orangée et de la lumière verte, et que les autres verres colorés ne sont guère mieux partagés sous ce rapport. Aussi, pour obvier à toutes ces objections, les physiciens ont-ils été contraints de se servir pour leurs expériences des rayons colorés du spectre. Les difficultés que présente l'emploi de cette méthode sont beaucoup plus grandes, mais les résultats ainsi obtenus sont bien plus précieux. MM. Helmholtz, Maxwell et J.-J. Müller ont fait de très belles recherches sur cette question. Les résultats auxquels ils sont arrivés peuvent se résumer à peu près ainsi : en mélangeant ensemble deux espèces de lumière colorée pure, ils ont généralement obtenu une lumière d'une couleur différente de celles des deux éléments primitifs ; par exemple, le rouge et le vert jaunâtre donnent une teinte orangée qui ressemble à tous égards à l'orangé pur du spectre ; il est également impossible de découvrir avec l'œil dans ce nouvel orangé la présence de lumière rouge ou de lumière vert jaunâtre. Ceci est vrai de tous les mélanges lumineux : jamais l'œil ne peut reconnaître la présence des éléments primitifs. A cet égard, l'œil n'agit pas comme l'oreille ; en effet, on peut avec de la pratique et sans l'aide d'un instrument décomposer par l'oreille les combinaisons de sons en leurs éléments

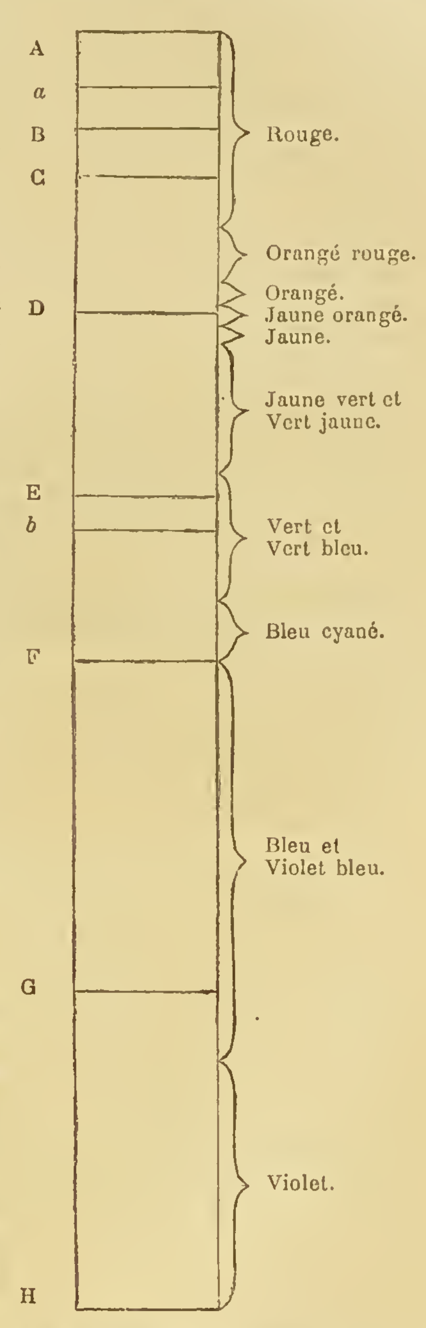


Fig. 46.— Raies fixes et espaces colorés du spectre donné par le prisme.

primitifs, du moins dans une certaine mesure. Les mêmes physiciens ont constaté qu'on peut obtenir la même couleur de plusieurs manières différentes, c'est-à-dire par la combinaison de différents couples de couleurs spectrales. Ainsi le violet et le bleu cyané donnent une teinte d'outremer, mais le violet donne la même couleur quand on le mélange avec du vert bleuâtre ou même avec du vert; dans ce dernier cas, la teinte obtenue est un peu blanchâtre. En mélangeant ensemble certaines couleurs du spectre, on a reconnu qu'on pouvait produire une nouvelle couleur ou sensation de couleur qui n'est pas fournie par le spectre pur lui-même : nous voulons parler du pourpre, ou plutôt de toute la classe des pourpres, qui vont du pourpre violet au pourpre rouge. Ceux-ci résultent du mélange des deux couleurs extrêmes du spectre, le rouge et le violet, en diverses proportions. En outre, le mélange de certaines couleurs du spectre donne de la lumière blanche; c'est ce qui arrive, par exemple, pour le rouge et le vert bleuâtre, et aussi pour le jaune et le bleu d'outremer. Dans ces deux cas, bien que le blanc provienne de sources si différentes, il présente exactement la même apparence à l'œil. Enfin le mélange de trois couleurs du spectre, ou d'un plus grand nombre encore, ne produit pas de nouvelles teintes, mais donne simplement des variétés de celles que l'on peut obtenir avec deux couleurs.

Tel est le caractère général des résultats que l'on obtient en mélangeant ensemble des faisceaux de lumière colorée pure; il nous reste maintenant à donner un peu plus de détails sur cette question si intéressante, et à examiner les lois qui président à la production des teintes résultantes.

Müller, qui travaillait sous la direction de Helmholtz, a constaté que toutes les couleurs du spectre (fig. 46), depuis le rouge jusqu'au vert jaunâtre, donnent par leur mélange des teintes résultantes qui sont toujours identiques à quelques-unes des couleurs situées entre le rouge et le vert jaunâtre ; ainsi :

Tableau I.

Le rouge et le vert jaunâtre donnent....	de l'orangé ou du jaune [1].
Le rouge et le jaune donnent............	de l'orangé.
L'orangé et le vert jaunâtre donnent....	du jaune.

1. Suivant les proportions employées.

L'effet du mélange dans tous ces cas a été de produire des couleurs qui étaient, suivant toutes les apparences, aussi pures que les couleurs correspondantes du spectre lui-même.

En outre, toutes les couleurs du spectre, depuis le violet jusqu'au vert bleuâtre, donnent des mélanges qui correspondent aux couleurs contenues entre ces limites ; ainsi :

Tableau II.

Le vert bleuâtre et le bleu d'outremer donnent	du bleu cyané.
Le vert bleuâtre et le violet donnent...........	du bleu cyané ou du bleu d'outremer.
Le violet et le bleu cyané donnent.............	du bleu d'outremer.

Dans ces cas aussi, les teintes résultantes ne peuvent se distinguer des couleurs spectrales correspondantes. Jusqu'ici les résultats offrent un caractère simple, et on les retient facilement quand on se rappelle la disposition des couleurs du spectre.

D'un autre côté, le *vert*, quand on le mélange avec une couleur quelconque du spectre, donne pour résultante une couleur moins saturée ou moins intense, et d'un aspect plus blanchâtre que la teinte spectrale correspondante ; ainsi :

Tableau III.

Le vert et le rouge donnent.....	Un orangé Un jaune Un vert jaunâtre	un peu blanc.
Le vert et le jaune donnent.....	Un vert jaunâtre un peu blanc.	
Le vert et le bleu cyané donnent.	Un vert bleuâtre un peu blanc.	
Le vert et le violet donnent.....	Un bleu d'outremer Un bleu cyané Un vert bleuâtre	blanchâtre.
Le vert jaunâtre et le vert bleuâtre donnent........................	Un vert très blanchâtre.	

Müller a déterminé avec soin la position occupée dans le spectre par le vert qui diminue le plus la saturation, et qui par conséquent contribue le plus à produire des teintes pâles ou blanchâtres. Ce vert est situé entre les raies fixe *b* et F, au tiers de la distance entre *b* et F mesurée à partir de *b*. Cette couleur est un vert bleuâtre, et peut être imitée en mélangeant du vert émeraude avec une petite quantité de bleu de cobalt. D'après Müller, comme nous l'avons déjà dit, c'est là le vert fondamental ; sa longueur d'onde est de 506,3 dix-millionièmes de millimètre.

Après avoir considéré les effets que produit le mélange de couleurs du spectre situees du même côté du vert, et aussi les effets que produit le vert lui-même en melange, il nous reste à examiner les mélanges des couleurs situées à droite et à gauche du vert; ainsi :

TABLEAU IV.

Le rouge et le bleu d'outremer donnent...	un violet légèrement blanchâtre.
Le rouge et le bleu cyané donnent........	un outremer ou un violet blanchâtre.
L'orangé et le violet donnent..............	un rouge blanchâtre.
Le rouge et le violet donnent.............	un pourpre blanchâtre.
L'orangé et l'outremer donnent.	un pourpre blanchâtre.

Ces résultats peuvent à première vue ne pas sembler aussi simples et aussi naturels que ceux que nous avons indiqués plus haut; mais, lorsque nous aurons expliqué la disposition du diagramme des couleurs [1], on verra qu'ils sont rigoureusement analogues à ceux qui précèdent.

Le lecteur s'est sans doute aperçu que les couples de couleurs contenus dans les tableaux précédents ne présentent pas toutes les combinaisons possibles des couleurs spectrales. Mais les cas que nous avons négligés donnent non pas de la lumière colorée, mais bien de la lumière blanche; ainsi :

TABLEAU V.

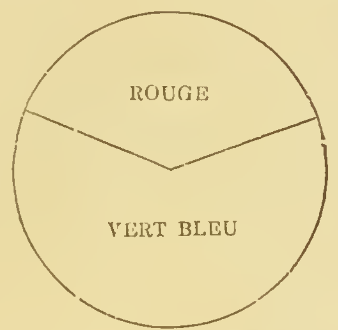
Le rouge et le vert bleuâtre [2] donnent...........	du blanc.
L'orangé et le bleu cyané donnent...............	du blanc.
Le jaune et l'outremer donnent..................	du blanc.
Le jaune verdâtre et le violet donnent...........	du blanc.

Pour cette raison, ces couleurs ont reçu le nom de couleurs complémentaires, et, comme elles sont fort importantes, nous leur consacrerons un chapitre à part. Le vert n'a pas dans le spectre de couleur complémentaire simple; son complément est un mélange de rouge et de violet, c'est-à-dire la couleur que l'on nomme pourpre.

On le comprendra facilement, ces expériences nous ont fourni un grand nombre de données précieuses, auxquelles nous n'aurions pas pu arriver en étudiant les mélanges de couleurs sur la palette du

1. Voyez le chapitre XIV.
1. Ou plutôt le bleu vert.

peintre. Grâce à ces données, nous allons pouvoir résoudre un grand nombre de problèmes sur les couleurs que nous offre la nature ou l'art, et qui sans cela seraient pour nous tout à fait insolubles. Malheureusement, les expériences dont nous avons présenté les résultats sont fort difficiles à faire, et celui qui les exécute doit avoir à la fois beaucoup de science et d'adresse, et plus de patience encore. Mais il existe une autre manière de mélanger les lumières colorées, qui ne prête pas aux mêmes objections, parce qu'elle est simple et tout à fait à la portée de tous ceux qui s'intéressent à ces questions. Nous voulons parler de la méthode des disques tournants, que nous avons indiquée une ou deux fois [1]. Si l'on peint un disque de carton en vermillon et en vert bleuâtre, comme l'indique la figure 47, et qu'on le fasse ensuite tourner rapidement, ces couleurs se mêleront dans



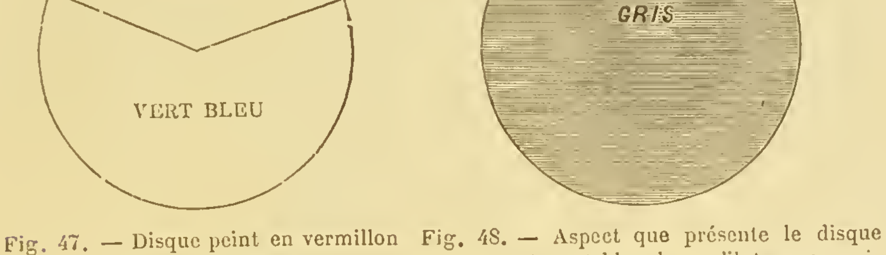


Fig. 47. — Disque peint en vermillon et en vert bleu.

Fig. 48. — Aspect que présente le disque rouge et vert bleu lorsqu'il tourne rapidement.

l'œil de l'observateur, et le disque tout entier prendra une teinte nouvelle et uniforme, qui sera la teinte due au mélange des lumières colorées lancées par les deux parties du disque (fig. 48). Si nous analysons cette expérience, voici ce qui a réellement lieu : à un moment quelconque, une certaine portion de la rétine de l'œil subit l'impression de la lumière rouge ; le disque tourne alors et envoie à la même portion de la rétine de la lumière vert bleuâtre ; puis vient le rouge, puis le vert bleuâtre, etc. Ainsi la rétine est réellement stimulée tour à tour par les deux faisceaux de lumière colorée, et cela à des intervalles d'un peu moins d'un cinquantième de seconde. Or il se trouve que ces actions alternatives produisent sur l'œil le même effet que des actions simultanées. Ce n'est pas là le résultat le moins précieux des ex-

1. Voyez chap. IX.

périences spectrales dont nous avons parlé plus haut, car il nous fournit une méthode facile pour continuer nos recherches sur les couleurs sans avoir directement recours au spectre. Mais il y a un rapport sous lequel le mélange des couleurs par la rotation des disques diffère réellement de celui qui se ferait par présentation simultanée. Si nous présentons au même instant à l'œil deux faisceaux de lumière colorée, il est évident que la luminosité du mélange sera égale à la somme des luminosités des deux composantes (ou que du moins elle doit en approcher) ; ainsi, en représentant par 25 la luminosité de notre lumière rouge, et par 30 celle de notre bleu verdâtre, la luminosité de la teinte du mélange sera 55. Mais, si ces deux faisceaux de lumière agissent alternativement sur l'œil, comme il arrive avec les disques rotatifs, la luminosité de la teinte du mélange sera non pas la somme, mais la moyenne des deux luminosités différentes, c'est-à-dire 27 1/2 [1].

Cette manière de mélanger les couleurs se trouve indiquée dès le second siècle de notre ère, dans l'*Optique* de Ptolémée [2]. Elle fut redécouverte par Musschenbrock en 1762, et enfin très perfectionnée par Maxwell. Ce dernier physicien a modifié les disques, de manière à permettre de mélanger sans peine les couleurs en toutes proportions.

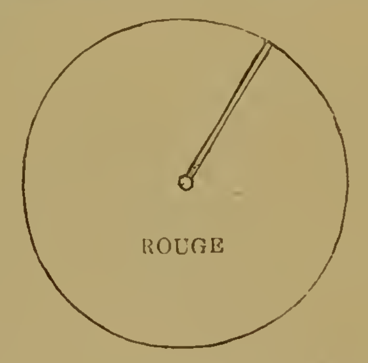


Fig. 49. — Un des disques de Maxwell.

Ce perfectionnement important s'obtient simplement en faisant une fente dans le disque depuis le centre jusqu'à la circonférence, comme l'indique la figure 49. Cette fente permet à l'opérateur de combiner sur le même axe deux disques ou même un plus grand nombre, et de les ajuster de manière qu'ils présentent la proportion qu'il voudra

1. Comparez à ce résultat ceux obtenus par l'auteur et indiqués au chapitre III.

2. *Bibliographie analytique*, par J. Plateau (1877).

de chacune de leurs surfaces (fig. 50 et 51). Pour mesurer les proportions respectives des deux couleurs, on peut, comme l'a fait Maxwell, placer un cercle gradué autour des disques. Nous trouvons plus commode d'appliquer sur la surface du disque un cercle

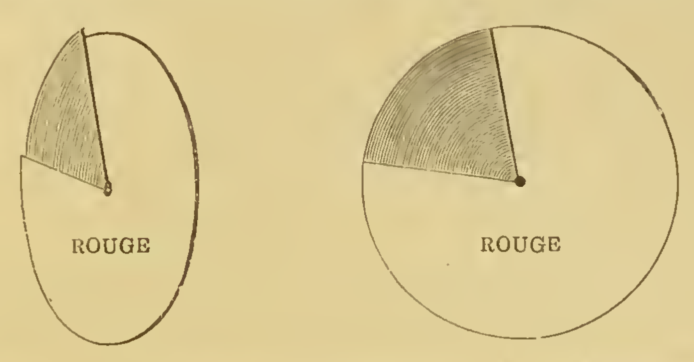


Fig. 50 et 51. — Combinaison de deux disques de Maxwell, vue sous deux aspects différents.

gradué en carton, en ayant soin de faire ce cercle un peu plus petit que le disque lui-même ; le centrage est assuré par le contact du carton avec l'axe auquel le disque est attaché (fig. 52). Au lieu de partager son cercle en 360 parties, Maxwell le partage en 100 seulement ; cette disposition est commode et permet de lire facilement les dixièmes de division. Les disques de Maxwell nous offrent encore un autre caractère très important : on peut facilement les disposer de manière à obtenir des équations de couleurs, qui sont fort utiles dans les études chromatiques. Reprenons, par exemple, notre disque composé de rouge et de vert bleuâtre, et souvenons-nous que ces couleurs sont complémentaires : il est évident que, si nous donnons des proportions convenables à la partie rouge et à la partie vert bleuâtre,

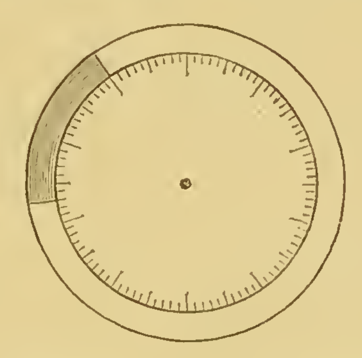


Fig. 52. — Manière de mesurer les couleurs sur les disques.

nous pourrons obtenir ainsi du blanc, ou, ce qui revient au même, un gris pur. Mais le gris pur s'obtient aussi en faisant tourner un disque blanc et noir disposé d'une façon semblable. Ainsi, dans une expérience de ce genre, nous mettons sur l'axe d'abord les disques vermillon et vert bleuâtre, et ensuite, toujours sur le même axe, des disques plus petits, l'un noir et l'autre blanc, fendus aussi suivant un rayon. Avec quelques tâtonnements nous pourrons disposer les disques colorés de manière qu'ils donnent un gris aussi neutre et aussi pur que celui produit par le disque noir et le disque blanc ; de leur côté, ces deux derniers peuvent être disposés de manière à rendre le gris qu'ils donnent aussi *lumineux* que celui des deux autres. Dans une expérience de ce genre, nous avons trouvé que pour obtenir un gris pur il fallait prendre 36 parties de vermillon et



Fig. 53. — Grand disque rouge et vert bleu, disposé de manière à donner un gris pur; petit disque noir et blanc donnant le même gris.

64 parties de vert bleuâtre. Ce gris était reproduit exactement sous tous les rapports par 21,3 parties de blanc et 78,7 parties de noir. Qnand le disque était stationnaire, il offrait l'apparence qu'indique la fig. 53; lorsqu'il tournait. il offrait celle d'un gris pur et uniforme. Cette expérience peut se représenter par l'équation suivante :

$$36 \text{ rouge} + 64 \text{ vert bleu} = 21{,}3 \text{ blanc} + 78{,}7 \text{ noir.}$$

Nous avons exprimé ici les proportions dans lesquelles il faut prendre ces couleurs particulières pour produire du gris ; la luminosité de ce gris peut aussi s'exprimer en fonction de papier noir et de papier blanc. D'après notre équation, si nous représentons par 100 la luminosité du papier blanc, et par zéro celle du papier noir, alors la luminosité du gris sera 21,3 pour cent de celle du papier blanc. Il n'est pas rigoureusement vrai que la luminosité du papier noir

soit égale à zéro, ou que ce papier ne réfléchisse pas de lumière du tout. Nous avons fait avec soin plusieurs expériences sur cette question, et voici le résultat auquel nous sommes arrivé : Si l'on prépare un carton noir en en peignant la surface avec du noir de fumée en poudre mélangé de juste assez de vernis à l'essence pour le faire adhérer solidement au carton, mais sans devenir luisant, nous aurons alors une surface uniforme, qui réfléchira une quantité assez faible, mais bien définie, de la lumière qu'elle recevra. Si, comme plus haut, nous représentons par 100 la luminosité du carton blanc, alors celle de cette sorte de papier noir sera 5,2 ; ou, en d'autres termes, ce carton noir réfléchit environ 5 pour cent de la lumière que réfléchit le carton blanc. Cette connaissance nous permet de corriger l'équation précédente : au lieu de 21,3 de blanc, il faudrait mettre 25,4.

Dans l'exemple qui précède, nous avons opéré sur deux couleurs complémentaires, et nous avons obtenu la mesure de la lumière blanche ou grise que donne leur mélange ; lorsque la teinte résultante n'est pas le gris, mais quelque couleur énergique, nous pouvons de même lui assigner une valeur numérique. Supposons du vermillon et du vert émeraude : avec des disques peints de ces couleurs, nous pouvons obtenir un jaune blanchâtre, comme l'exige la théorie de Young, et nous pouvons exprimer la valeur de ce jaune en fonction de jaune de chrome, c'est-à-dire en rendant le jaune de chrome et plus sombre, et plus pâle. Nous y arrivons en combinant le jaune de chrome avec un disque noir et un disque blanc. Voici l'équation que nous a donnée une expérience de ce genre :

$$51 \text{ Verm.} + 49 \text{ vert ém.} = 20 \text{ jaune chr.} + 8 \text{ blanc} + 72 \text{ noir.}$$

Le disque que nous avons employé pour cette expérience est représenté par la fig. 54. Le lecteur sera peut-être un peu surpris de ce qu'il a tant fallu ternir le jaune de chrome pour arriver à l'appareiller avec le jaune que donne le mélange de la lumière verte et de la lumière rouge ; mais il ne faut pas oublier que le jaune de chrome n'appartient pas tout à fait à la même catégorie de couleurs que le vermillon et le vert émeraude ; je veux dire par là que, si nous représentions la région rouge d'un spectre normal par le vermillon, et la région verte par le vert émeraude, alors le jaune de chrome serait trop brillant ou trop lumineux pour l'espace jaune, et nous serions forcés d'y substituer un jaune plus terne.

De la même façon, avec des disques convenablement peints, nous pouvons faire une série d'expériences sur le mélange des autres couleurs, et nous convaincre de l'exactitude des résultats déjà donnés dans ce chapitre. Par exemple, en combinant un disque jaune avec un disque vermillon en diverses proportions, nous obtenons une série de teintes orangées ou jaune orangé, qui semblent aussi saturées que leurs éléments primitifs. Un disque minium et un disque vert jaunâtre donnent un beau jaune, et le même disque vert jaunâtre, combiné avec un disque vermillon, donne un bel orangé ou un beau jaune, suivant les proportions des éléments. Ces résultats correspondent à ceux que con-



Fig. 54. — Disques vermillon et vert émeraude arrangés de manière à produire du jaune par rotation. Ce jaune est imité par trois petits disques, l'un jaune de chrome, le second noir et le troisième blanc, disposés comme l'indique la figure.

tient le tableau I. On peut vérifier de même les résultats contenus dans les autres tableaux. Naturellement. il faut apporter un certain soin au choix des couleurs dont on peint les disques ; par exemple, nous avons reconnu qu'on imite bien le rouge pur du spectre avec du vermillon sur lequel on a passé une teinte de carmin. Le vermillon lui-même correspond à la partie rouge du spectre située à peu près à égale distance de C et de D ; le minium répond à un orangé rouge situé encore plus près de D, etc. Les parties du spectre que représentent ces matières colorantes et d'autres encore sont indiquées au chapitre III, et nous y renvoyons le lecteur pour de plus amples détails.

Lorsqu'on prépare une série de disques pour faire des expériences exactes, il va sans dire qu'il est nécessaire d'en comparer avec soin les couleurs à celles des régions du spectre que les disques sont destinés à représenter. On peut le faire à l'aide du spectroscope, en suivant la méthode indiquée au chapitre III. Une série de disques dont les couleurs ont été soigneusement déterminées est très précieuse, non

seulement pour faire des expériences de ce genre, mais encore pour produire à volonté une très grande variété de teintes, dont on peut dresser la liste, pour les reproduire ensuite d'une manière exacte, toutes les fois qu'on le juge nécessaire.

Nous passons maintenant à la description d'un petit appareil à la fois ingénieux et simple, imaginé par Dove pour mélanger la lumière colorée qui provient de verres colorés; ce petit appareil a reçu de son inventeur le nom de dichrooscope. Il se compose d'une caisse de 81 millimètres de long sur 75 de haut et 70 de large; trois de ses côtés sont ouverts, mais peuvent être fermés au moyen de plaques opaques ou aussi de plaques de verre coloré (voy. la figure 55, qui montre cette petite caisse en perspective). La figure 56 est une section verticale de la même caisse, dans laquelle VR et RD sont des plaques de verre co-

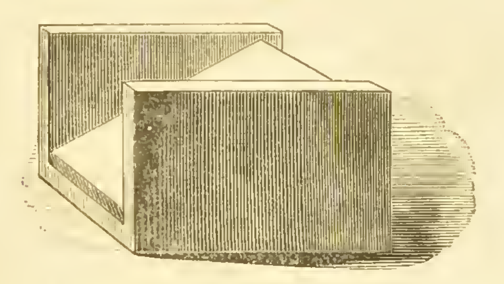


Fig. 55. — Caisse du dichrooscope de Dove, d'où l'on a retiré les plaques de verre coloré, de façon à laisser les trois côtés ouverts. Les six plaques de verre à vitre sont à leur place ordinaire.

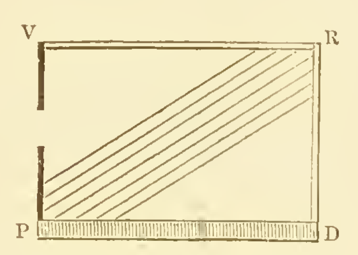


Fig. 56. — Section verticale du dichrooscope.

loré; VP est une plaque opaque en carton noirci, dans laquelle on a pratiqué une ouverture carrée; PR représente un assemblage de six plaques de verre à vitre de première qualité; ces plaques sont nécessairement incolores. En MM (fig. 57) est un miroir argenté, et en N un prisme de Nicol. Voici comment on se sert de cet appareil : Soit VR une plaque de verre vert, et RD une plaque de verre rouge; alors la lumière qui vient du ciel, frappant sur le miroir MM, se réfléchit à travers RD et les plaques PR, et arrive enfin à l'œil; elle est nécessairement colorée en rouge. Mais la lumière qui vient du ciel tombe aussi sur la plaque de verre vert VR, y pénètre, se réfléchit sur les plaques de verre situées en PR, et vient aussi frapper l'œil. L'œil subit donc simultanément l'action de la lumière rouge et celle de la lumière verte; et, si nous ôtons le prisme de Nicol qui se trouve en N, nous verrons ce mélange, sans avoir aucun moyen de régler les pro-

portions de la lumière rouge et de la lumière verte. Si, au contraire, nous remettons en place le prisme de Nicol et que nous le fassions tourner, nous pouvons mêler la lumière rouge et la lumière verte dans les proportions que nous voudrons [1]. Quand l'appareil est armé d'un verre rouge et d'un verre vert, comme nous l'avons dit plus haut, il donne quelquefois un jaune terne sans l'assistance du prisme de Nicol; avec le prisme, on peut toujours obtenir ce jaune, et on le transforme en jaune verdâtre ou en orangé, si l'on fait varier convenablement les proportions des deux éléments. Il est mieux de se servir

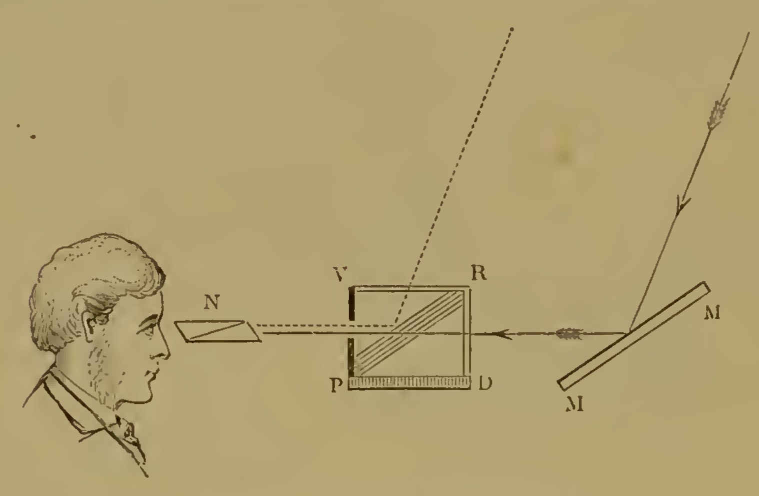


Fig. 57. — Le dichrooscope disposé pour une expérience

de verres dont la teinte ne soit pas trop foncée, parce qu'il n'est pas facile de reconnaître le jaune foncé. Nous nous sommes aisément procuré des morceaux de verre vert et des morceaux de verre pourpre, qui donnent le blanc pur; le verre jaune et le verre bleu ont donné les mêmes résultats. Lorsque la teinte du verre jaune était trop foncée, le blanc offrait toujours une teinte rosée. Le rouge et le jaune donnent de l'orangé; le vert et le jaune, du vert jaunâtre; le rouge et le bleu, du pourpre. Tous ces résultats sont tout à fait d'accord avec ceux que l'on obtient en mélangeant les lumières colorées du spectre.

Dans le chapitre précédent, nous avons décrit une méthode qui a été imaginée il y a longtemps par Lambert pour mélanger les lumières colorées réfléchies par les surfaces peintes (voy. fig. 39, p. 91). La lu-

1. On peut faire avec ce petit appareil un grand nombre d'expériences frappantes sur la lumière polarisée; pour l'exposé de ces expériences, nous renvoyons le lecteur aux *Annalen* de Poggendorff, vol. CX, p. 265, ou à l'*American Journal of Science*, vol. XXXI, janvier 1861.

mière qui vient du papier bleu est transmise directement à l'œil, et celle qui vient du papier jaune vient frapper l'œil après avoir été réfléchie; leur action est nécessairement simultanée. En rapprochant ou écartant l'un de l'autre les deux carrés de papier, on peut faire varier leur éclat apparent, de manière à régler la proportion de lumière bleue et de lumière jaune qui arrive à l'œil : le jaune dominera quand les papiers seront voisins l'un de l'autre, le bleu quand ils seront plus éloignés. Le jaune de chrome (la teinte pâle) et le bleu d'outremer, lorsqu'on les combine par cet appareil, donnent un blanc bien net, et le vert émeraude et le vermillon donnent une teinte jaunâtre ou orangée, suivant la manière dont on les dispose. Il est difficile de trouver un bon représentant du violet parmi les matières colorantes dont se servent les peintres; il nous a paru que certains échantillons de la couleur d'aniline connue sous le nom de violet d'Hoffmann BB sont plus satisfaisants que toute autre matière colorante ordinaire. Si l'on étend sur du papier une couche foncée de sa dissolution dans l'alcool, et qu'on la combine dans l'appareil avec le vert émeraude, on produira facilement du bleu, du bleu verdâtre ou du bleu violet. Il est évident qu'on peut faire une multitude d'expériences de ce genre, dans lesquelles le nombre des couleurs qu'on peut unir à la fois ne doit pas dépasser deux. Il va sans dire que les résultats ainsi obtenus sont d'accord avec la théorie de Young.

Une autre méthode pour mélanger les lumières colorées semble avoir été conçue pour la première fois d'une manière définie par Mile en 1839, bien que les peintres la pratiquassent depuis longtemps. Nous voulons parler de l'habitude de disposer très près l'un de l'autre un grand nombre de petits points de deux couleurs, et de les faire mélanger par l'œil maintenu à une distance convenable. Mile traçait des lignes colorées très fines parallèles entre elles, en alternant les teintes. Les résultats ainsi obtenus sont de véritables mélanges de lumières colorées, et concordent avec ceux que nous avons déjà indiqués. Par exemple, des raies de bleu de cobalt et de jaune de chrome donnent du blanc ou du blanc jaunâtre, mais sans la moindre trace de vert; le vert émeraude et le vermillon, traités de cette façon, donnent un jaune terne; l'outremer et le vermillon, un beau pourpre rouge, etc. Cette méthode est presque la seule manière pratique pour le peintre de mêler réellement, non pas des matières colorantes, mais des faisceaux de lumière colorée. A ce propos, nous nous rappelons une opinion intéressante exprimée par Ruskin, et qui se rattache indirec-

tement à notre sujet. Dans ses admirables *Eléments de dessin*, l'auteur des *Peintres modernes* s'exprime ainsi : « Diviser une couleur en petits points à travers ou par-dessus une autre, voilà le plus important de tous les procédés dans la bonne peinture à l'huile ou à l'aquarelle de notre époque.... Dans les effets éloignés produits par des objets vivement colorés, — bois, eau en mouvement, ou nuages brisés, — on peut faire beaucoup en accumulant les touches de couleurs un peu sèches, et en ajoutant ensuite habilement d'autres couleurs dans les interstices..... Et notez, en remplissant ainsi de petits interstices, que, si vous voulez que la couleur ainsi ajoutée paraisse brillante, il vaut mieux en mettre dans l'interstice un point bien marqué, en laissant un peu de blanc à côté ou autour, que de mettre sur la totalité de celui-ci une teinte pâle de la couleur. Le jaune ou l'orangé paraît à peine, lorsqu'il est pâle, dans les petits espaces; mais il brille beaucoup en touches fines, quelque petites qu'elles soient, lorsqu'il y a du blanc à côté. »

Cette dernière manière de mélanger les lumières colorées se présente souvent dans la nature; les teintes des objets éloignés dans un paysage sont souvent fondues ainsi, et produisent une douceur de nuances qui n'existait pas tout d'abord. Même les objets voisins, lorsqu'ils sont nombreux et de petites dimensions, agissent de même. Par exemple, les couleurs de l'herbe rare d'un coteau se mêlent souvent de cette façon avec les teintes gris verdâtre des mousses et le brun des feuilles mortes; le brun rougeâtre ou pourpré des tiges des petits arbrisseaux se fond, à une certaine distance, avec le vert ombragé de leur feuillage; on retrouve le même principe dans bien d'autres cas encore, pour les parties supérieures et les parties inférieures des mousses, pour les tiges d'herbe éclairées par le soleil et celles qui sont dans l'ombre, pour toutes les taches colorées que présentent les roches et les troncs d'arbres.

Il existe une autre manière de mélanger les lumières colorées, peu employée par les physiciens, bien qu'elle se présente sans cesse dans la nature. Nous voulons parler du cas où deux faisceaux de lumière colorée tombent à la fois sur le même objet. Ce sont les couchers de soleil qui nous fournissent les exemples les plus frappants de ces effets, les objets qui forment le paysage se trouvant éclairés en même temps par le ciel bleu et par les rayons orangés ou rouges du soleil qui descend vers l'horizon. Des exemples moins frappants du même phénomène s'offrent sans cesse à nos regards; le plus ordinaire est

celui où un objet coloré réfléchit une lumière de sa propre teinte sur les objets voisins, de manière à modifier leurs couleurs, tandis que lui-même subit à son tour leur influence. Les murs blancs ou gris d'une chambre prennent souvent des teintes merveilleuses, grâce à la lumière colorée que leur renvoient un tapis, des rideaux, ou d'autres objets colorés qui se trouvent dans le voisinage. Toutes les fois que la surface sur laquelle tombent les couleurs multiples est blanche ou grise, ou d'une nuance pâle, les lois du mélange des lumières colorées, que nous avons expliquées ci-dessus, se vérifient; mais, si cette surface a par elle-même une couleur bien tranchée, les phénomènes sont modifiés d'une manière que nous exposerons plus loin.

Comparons maintenant les résultats que donne le mélange des *lumières* colorées à ceux que donne le mélange des *matières colorantes*. On a longtemps admis que ces résultats étaient identiques, et que les expériences sur les mélanges de lumières colorées pouvaient très bien se faire au moyen de la palette du peintre. Lambert semble avoir été le premier à montrer que les résultats obtenus dans les deux cas ne sont pas toujours les mêmes. Ainsi la célèbre expérience dans laquelle en combinant de la lumière bleue avec de la lumière jaune on obtient, non pas du vert, mais du blanc, a été faite d'abord par lui avec l'appareil que représente la figure 39 (p. 91). Le même fait a été plus tard découvert d'une manière indépendante par Plateau, et enfin par Helmholtz, qui l'a pris pour point de départ d'une étude générale de toute la question. Quand nous examinons ce sujet avec attention, nous reconnaissons que le mélange des matières colorantes produit deux effets distincts. Supposons qu'il s'agisse de mélanger du jaune de chrome et du bleu d'outremer, tous deux en poudre sèche. Si nous frottons un papier avec ce mélange, nous obtiendrons un vert uniforme et un peu terne. L'examen, même avec un microscope de puissance moyenne, ne nous montrera pas les particules séparées des deux matières colorantes. Cependant nous savons qu'il doit y avoir une couche superficielle formant une véritable mosaïque de molécules bleues et de molécules jaunes placées côte à côte. Ces deux sortes de molécules envoient à l'œil de l'observateur chacune de la lumière de sa propre couleur, et c'est dans l'œil que se fait un véritable mélange qui donne pour teinte résultante un gris jaunâtre. Jusque-là, le résultat est tout à fait d'accord avec celui que donne le mélange de deux faisceaux de lumière colorée. Le second effet, qui est plus important, est produit par la lumière qui traverse deux couches de molécules

colorées, ou même davantage. Ici, la lumière est absorbée de la façon que nous avons expliquée au chapitre VII : les molécules jaunes absorbent les rayons bleus et les rayons violets; les molécules bleues absorbent les rayons rouges, les orangés et les jaunes. La lumière verte aussi est absorbée par les deux sortes de molécules, mais bien moins que les autres rayons. De tout cela il résulte que le jaune de chrome et le bleu d'outremer réunis absorbent toutes les couleurs que contient la lumière blanche, sauf le vert; par conséquent, en définitive, de la lumière verte est réfléchie par la surface et arrive à l'œil de l'observateur. Enfin cette lumière verte se mélange avec la lumière gris jaunâtre dont nous avons parlé plus haut. Lorsqu'on se sert de couleurs sèches, les deux effets que nous venons de décrire se produisent toujours. S'il s'agit de couleurs délayées dans l'eau, la quantité



Fig. 58. — Ouvertures découpées dans une carte noire, et recouvertes de verres l'un rouge et l'autre vert (grandeur naturelle).

de lumière renvoyée par la surface diminue, et avec elle le premier effet décrit; il diminue bien plus encore si les couleurs sont broyées à l'huile. De tout cela il ressort que, *si nous mélangeons deux matières colorantes*, nous obtenons l'effet qui résulte des deux absorptions qu'opèrent les deux couleurs : la lumière blanche subit deux soustractions différentes, et ce qui reste ensuite est la lumière colorée qui revient de la surface peinte. D'un autre côté, le mélange de deux lumières colorées est essentiellement un procédé d'addition; et par suite nous trouvons tout naturel que les résultats fournis par ces deux méthodes ne soient jamais identiques, et soient même souvent très différents. Il en résulte que, dans bien des cas, les peintres ne peuvent appliquer directement ce que leur palette leur a enseigné à l'interprétation des effets chromatiques produits par la nature, puisque ceux-ci dépendent souvent en grande partie du mélange de faisceaux de *lumières* de couleurs différentes. Ce fait est maintenant admis

d'une manière générale par tous les peintres intelligents; mais il en est probablement peu qui, sans avoir fait d'expériences à ce sujet, se rendent bien compte de toute l'étendue du désaccord qui existe entre les résultats donnés par les deux modes de mélange. Il y a quelques années, Dove a décrit une méthode pour étudier cette question à l'aide de verres colorés; et, comme il serait difficile d'imaginer une manière plus simple ou plus frappante de faire ces expériences, nous allons donner son procédé tout au long.

On découpe dans une carte noircie deux ouvertures d'environ 8 millimètres de large, comme l'indique la figure 58. Sur ces ouvertures on adapte deux morceaux de verre coloré, par exemple l'un rouge et l'autre vert; puis on fait passer à travers ces verres la lumière qui vient d'un nuage blanc. En P (fig. 59) se trouve un prisme

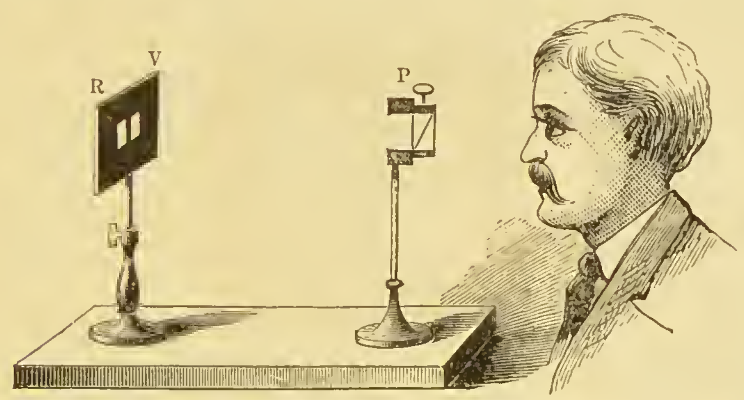


Fig. 59. — Manière de se servir de l'appareil de Dove. RV, carte portant un verre rouge et un verre vert ; P, prisme de spath d'Islande.

achromatique de spath d'Islande, qui double chacune des petites plaques de lumière colorée, de sorte que l'observateur qui regarde à

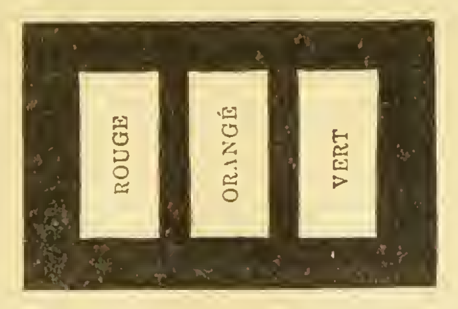


Fig. 60. — Résultat obtenu lorsque la lumière rouge et la lumière verte sont mélangées par l'appareil de Dove.

travers le prisme voit deux images rouges d'un éclat exactement égal, et aussi deux images vertes semblables. Or, en faisant tourner le

prisme de spath d'Islande, l'opérateur peut amener une des images rouges à recouvrir une des vertes, ce qui permet de mélanger la lumière rouge et la lumière verte que donnent les verres colorés. Dans une expérience que nous avons faite, la couleur de ce mélange était orangée (fig. 60). Nous avons ôté les verres de l'instrument, nous les avons superposés, et nous les avons fait traverser par de la lumière blanche, de sorte que l'effet de la double absorption s'est manifesté; mais alors la couleur de la lumière transmise n'était pas orangée, ni même brune, mais vert foncé. Si ces deux verres avaient été réduits en poudre, et qu'après les avoir mélangés d'huile on eût peint une toile avec ce mélange, elle aurait présenté non pas une teinte orangée, mais une teinte vert foncé. Nous donnons ici les résultats d'une série d'expériences que nous avons faites tout récemment, et qui montrent bien les différences produites par les deux procédés :

Résultats fournis par l'appareil de Dove.

Couleurs des verres.	Résultat fourni par le mélange des lumières.	Résultat donné par l'absorption.
Rouge et vert	Orangé.	Vert foncé.
Rouge [1] et vert	Jaune pâle.	Noir.
Jaune et bleu	Blanc.	Beau vert.
Jaune [1] et bleu	Blanc rosé.	Beau vert olive.
Rouge et bleu	Pourpre violet.	Rouge foncé.
Jaune et pourpre foncé	Jaune.	Orangé foncé.
Jaune [1] et pourpre foncé	Orangé pâle.	Brun foncé.
Pourpre et vert	Blanc.	Vert foncé.
Jaune et rouge	Jaune légèrement orangé.	Rouge orangé foncé.
Jaune [1] et rouge	Orangé.	Rouge.
Jaune et vert bleuâtre	Jaune.	Vert jaunâtre.
Jaune [1] et vert bleu	Blanc jaunâtre.	Beau vert jaunâtre.
Jaune [2] et vert bleu	Jaune verdâtre pâle.	Vert olive.
Pourpre et vert bleu	Vert bleu pâle.	Violet foncé.
Violet pourpre et vert	Bleu violet pâle.	Noir.

Ce ne sont pas là des expériences choisies tout exprès pour montrer de grandes différences; nous avons fait entrer dans ce tableau toute la série des expériences faites à la fois sur ce sujet, et nous les transcrivons simplement d'après notre carnet de notes. Malgré cela, on voit que dans aucun cas les deux méthodes ne fournissent le même résultat; en général, les différences sont telles qu'il serait absolument

1. Échantillon plus foncé.
2. Échantillon encore plus foncé.

impossible de deviner la nature d'une des séries de teintes d'après la connaissance de l'autre. Ces expériences prouvent donc l'énorme différence qui existe entre les effets produits par le mélange de deux lumières et l'absorption de la lumière; mais, nous l'avons déjà dit, lorsqu'on mélange des couleurs sur une palette, la teinte résultante dépend en partie de la loi des mélanges et en partie de celle de l'absorption, celle-ci l'emportant, bien entendu, sur l'autre. Aussi les résultats présentés par le dernier tableau, bien qu'instructifs, ne sont-ils pas nécessairement applicables d'une façon rigoureuse à la palette du peintre, qu'il vaut mieux étudier par une autre méthode.

Voici comment nous avons procédé pour ce cas particulier : nous avons d'abord préparé deux teintes assez foncées de couleurs d'aquarelle, du vermillon, par exemple, et du bleu d'outremer, que nous

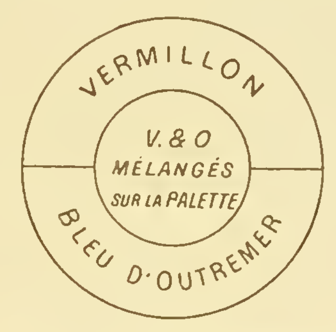


Fig. 61. — Disque servant à montrer la différence qui existe entre le mélange de deux lumières colorées et celui des matières colorantes. Le disque extérieur est peint avec les couleurs pures, et le petit disque avec leur mélange.

avons étendues chacune sur un disque de Maxwell. Prenant ensuite un nombre égal de gouttes des mêmes teintes, nous les avons mêlées sur une palette, et nous nous sommes servi du mélange pour peindre un troisième disque, plus petit que les deux autres. Nous avons placé les disques sur un appareil de rotation, en les disposant comme l'indique la figure 61, le vermillon et l'outremer couvrant chacun la moitié du grand disque, tandis qu'au centre se trouve le petit, colorié avec le mélange fait sur la palette. Quand ce disque composé tourne rapidement, les couleurs de la couronne vermillon et bleue subissent un véritable mélange, et il est facile de comparer la teinte qui en résulte avec celle qu'a donnée la palette. Voici les résultats auxquels nous sommes ainsi arrivé : le grand disque présente une teinte pourpre rouge, auprès de laquelle celle du petit disque semble grise, tant sa couleur est terne et inférieure à l'autre. En réalité, le petit disque

est pourpre violet terne. Nous pouvons donc remarquer, non seulement que la couleur de celui-ci est bien plus sombre et moins saturée, mais encore qu'elle a passé du pourpre rouge au pourpre violet. Ensuite, pour reconnaître dans quelle mesure les couleurs ont été rendues plus foncées et altérées par le mélange sur la palette, nous avons combiné un disque noir avec les disques vermillon et outremer, de manière à introduire dans le mélange pourpre rouge différentes proportions de noir, au moyen d'une rotation rapide. Nous n'avons pu réussir par ce procédé à ramener la couleur du grand disque à celle du petit : la teinte du premier était toujours trop saturée. Enfin nous avons ajouté du blanc au grand disque, et nous sommes arrivé à appareiller les deux. Nous avons alors constaté que vingt et une parties de vermillon et vingt d'outremer, avec cinquante et une de noir et neuf de blanc, donnaient par rotation une teinte identique à celle que nous obtenions en mélangeant sur la palette le vermillon et l'outremer. La grande quantité de noir qu'il a fallu ajouter prouve d'une manière frappante que tout mélange de couleurs sur la palette du peintre est un acheminement vers le noir. Le tableau suivant contient les résultats des autres expériences :

TABLEAU COMPARATIF DES EFFETS DU MÉLANGE DES COULEURS PAR VOIE DE ROTATION ET SUR LA PALETTE

Couleurs.	Par rotation.	Sur la palette
Violet (carmin violet)....... Vert jaune (vert de Hooker)..	Gris jaunâtre.	Brun.
Violet (carmin violet)....... Jaune (gomme gutte).......	Gris jaunâtre pâle.	Gris sépia.
Violet (carmin violet)....... Vert (bleu de Prusse et gomme gutte)....................	Gris verdâtre.	Gris.
Violet (carmin violet)....... Bleu de Prusse.............	Gris bleu.	Gris bleu.
Violet (carmin violet)....... Carmin....................	Pourpre rose.	Pourpre rouge terne.
Gomme gutte.............. Bleu de Prusse.............	Gris verdâtre pâle.	Vert bleu franc.
Carmin.................... Vert de Hooker.............	Orangé jaunâtre (couleur de chair).	Rouge brique.
Carmin.................... Vert.......................	Teinte rougeâtre pâle (chair).	Rouge foncé.

On remarquera que dans un seul cas les résultats des deux méthodes sont les mêmes; dans tous les autres, les teintes de la palette sont non seulement beaucoup plus foncées, mais encore différentes. Nous avons ensuite réduit les huit cas ci-dessus en équations de couleurs, en suivant exactement la méthode que nous venons d'indiquer pour le vermillon et le bleu d'outremer; et comme ces équations présentent les faits d'une manière exacte en montrant combien de noir il a fallu ajouter, et dans quelle mesure il a fallu faire varier les proportions des deux couleurs composantes, nous les donnons ici :

Mélange sur la palette.		Mélange par rotation.
50 violet + 50 vert de Hooker....	=	21 violet + 22,5 vert de Hooker + 4 vermillon + 52,5 noir.
50 violet + 50 gomme-gutte......	=	54 violet + 20 gomme-gutte + 26 noir.
50 violet + 50 vert...............	=	50 violet + 18 vert + 32 noir.
50 violet + 50 bleu de Prusse.....	=	47 violet + 49 bleu de Prusse + 4 noir.
50 violet + 50 carmin............	=	36 violet + 37 carmin + 8 outremer + 19 noir.
50 gomme-gutte + 50 bleu de Prusse........................	=	12 jaune (gomme-gutte) + 42 bleu de Prusse + 41 vert + 4 noir.
50 vermillon + 50 outremer......	=	21 vermillon + 20 outremer + 51 noir + 9 blanc.
50 vert de Hooker + 50 carmin..	=	23,5 vert jaune (vert de Hooker) + 8 carmin + 52 vermillon + 16 noir.
50 carmin + 50 vert.............	=	50 carmin + 24 vert + 26 noir.

On remarquera que la quantité de noir qu'il a fallu introduire, afin d'assombrir le *véritable mélange des couleurs* pour le rendre pareil au *mélange des matières colorantes*, est très variable, puisqu'elle va de quatre à cinquante-deux pour cent. C'est pour cela que les peintres font tant attention au choix des matières colorantes quand ils veulent produire des tons bien définis, surtout si ces tons doivent être lumineux. Dans quatre de ces expériences, nous n'avons pu arriver à l'égalité qu'en ajoutant une troisième couleur aux deux éléments primitifs; dans un cas, il a fallu ajouter du blanc; ainsi, dans plus de la moitié des cas étudiés, les couleurs primitives n'ont pu reproduire par un vrai mélange la teinte obtenue sur la palette, sans faire intervenir un élément étranger. Ces expériences servent donc à prouver que nous ne devons pas compter sur les résultats fournis par la palette pour nous guider dans l'interprétation ou dans

l'étude des effets naturels qui dépendent du mélange de lumières colorées.

Nous allons maintenant considérer les résultats que l'on obtient en exposant une surface colorée à l'action simultanée de lumière colorée et de lumière blanche. Les effets de ce genre ne sont pas rares dans la nature, et les peintres les choisissent souvent tout exprès pour sujets de tableaux; à un degré moins marqué, ils existent toujours dans une certaine mesure, même lorsque nous cherchons à les éviter. Avec ce que nous savons maintenant, nous pouvons reconnaître que dans les cas de ce genre la teinte résultante de la surface dépendra de trois circonstances : d'abord, de la couleur que prend la surface sous l'action de la lumière blanche, c'est-à-dire de sa couleur naturelle ou « locale », pour parler le langage des peintres; en second lieu, de la couleur qui lui est communiquée par la portion de la lumière colorée qui se réfléchit sans altération sur la surface; enfin, en troisième lieu, il faut tenir compte des effets produits par la lumière colorée qui pénètre plus loin que la surface, et qui est réfléchie après avoir subi un certain degré d'absorption. Il est assez facile de faire sur ce point des expériences satisfaisantes à l'aide d'un appareil fort simple que nous avons imaginé. A environ trois mètres d'une fenêtre, on place sur une table une lentille dont la distance focale est d'à peu près 125 millimètres, de façon qu'elle concentre la lumière blanche qui vient de la fenêtre. Devant la lentille on tient une plaque de verre coloré, et il en résulte que l'on obtient un rayon brillant de lumière colorée, que l'on peut projeter sur une surface colorée quelconque, un papier colorié, par exemple (fig. 62). Si les murs de la chambre sont blancs, le papier sera en même temps exposé à l'action de la lumière blanche; et, en le détournant ou en l'éloignant de la lentille, on pourra faire varier à son gré les proportions des deux lumières. Nous allons donner les détails de deux expériences que nous avons faites avec cet appareil. Nous nous sommes procuré de la lumière jaune au moyen d'une plaque de verre qui donnait par transmission une lumière d'une teinte jaune pure, sans aucune tendance au jaune orangé ou au jaune verdâtre. A ce rayon de lumière nous avons exposé un morceau de papier coloré en bleu foncé intense au moyen d'outremer artificiel. La partie éclairée par la lumière jaune a paru presque *blanche*, ce qui montre qu'un véritable mélange des couleurs avait eu lieu. Tout le monde sait qu'il est difficile de déterminer la couleur véritable d'un point qui est

entouré d'un espace coloré; aussi, pour ne pas être trompé par le contraste, est-il bon, dans ces expériences, de regarder le point qui a reçu les deux lumières à travers une ouverture découpée dans du papier noir, en tenant ce papier de manière à ne voir que le point en question. Nous avons pris cette précaution dans le cas dont il s'agit, ainsi que dans toutes les expériences que nous exposons plus loin. Nous avons alors enlevé le papier d'outremer, et nous l'avons remplacé par un autre que nous avions peint en bleu de Prusse. Le point nous a semblé alors *vert* brillant, ce qui prouve qu'il s'était produit une action semblable à celle que détermine le mélange de deux cou-

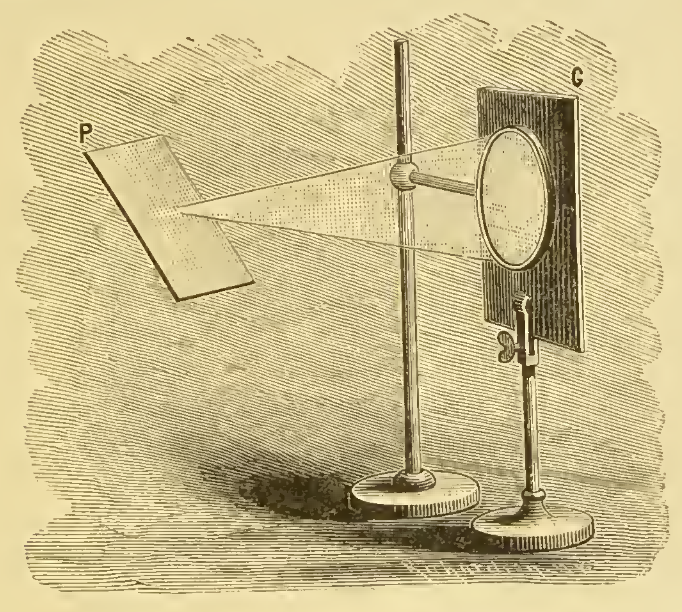


Fig. 62. — La lumière blanche qui vient d'une fenêtre tombe sur un verre de couleur placé en G, et est ensuite concentrée par la lentille sur une feuille de papier blanc située en P.

leurs sur une palette. Voici comment ces faits s'expliquent : Le verre jaune transmet de la lumière jaune, de la lumière verte, de l'orangée et de la rouge; et, comme nous l'avons fait voir dans le chapitre précédent, ces diverses lumières réunies donnent une lumière qui nous semble jaune. La portion de cette lumière jaune composée qui pénètre dans le bleu de Prusse subit une absorption; toutefois l'élément vert n'est pas absorbé, et par conséquent le papier le réfléchit assez abondamment. Mais un peu de la lumière jaune est réfléchi sans altération à la surface externe du papier; cette lumière se mêle avec la lumière bleue (qui est due à l'éclairage par la

lumière blanche) et donne du blanc; de sorte que ce que nous avons en définitive, c'est du vert plus ou moins mélangé de blanc. Dans l'expérience où nous nous sommes servi de papier d'outremer, sans doute il y a eu une certaine absorption, mais elle n'a pas été suffisante pour modifier beaucoup le résultat; la lumière bleue et la lumière jaune se sont simplement unies et ont formé de la lumière blanche. Nous donnons plus bas, sous forme de tableaux, une longue série d'expériences que nous avons faites dernièrement; l'examen de ces tableaux prouve qu'en général la teinte résultante dépend plutôt d'un véritable mélange de lumières colorées, et que l'absorption n'intervient que d'une manière secondaire pour modifier les résultats :

Tableau I.

Une lumière jaune tombant sur un papier teinté de

Carmin,	donne...............	Un orangé rouge.
Vermillon,	»	Un rouge orangé brillant.
Orangé [1],	»	Un jaune orangé brillant.
Jaune de chrome,	»	Un jaune brillant.
Gomme-gutte,	»	Un jaune brillant.
Vert jaunâtre [2],	»	Du jaune.
Vert [3],	»	Un vert jaune brillant.
Vert bleu [4],	»	Un vert jaune(blanchâtre).
Bleu cyané [5],	»	Un vert jaune.
Bleu de Prusse,	»	Un vert brillant.
Bleu d'outremer,	»	Du blanc.
Violet [6],	»	Une teinte rougeâtre pâle
Violet pourpre [7],	»	De l'orangé (blanchâtre).
Pourpre [8],	»	De l'orangé.
Noir [9],	»	Du jaune.

Tableau II.

Une lumière rouge tombant sur un papier teinté de

Carmin,	donne...............	Du rouge.
Vermillon,	»	Du rouge brillant.

1. Mélange de minium et de jaune indien.
2. Mélange de gomme-gutte et de bleu de Prusse.
3. Mélange de vert émeraude avec un peu de jaune de chrome.
4. Mélange de vert émeraude avec un peu de bleu de cobalt.
5. Mélange de bleu de cobalt et de vert émeraude.
6. Violet d'Hoffmann BB.
7. Violet d'Hoffmann BB et carmin.
8. Violet d'Hoffmann BB et carmin.
9. Noir de fumée.

Orangé.	donne..	De l'orangé rouge et de l'écarlate.
Jaune de chrome,	»	De l'orangé.
Gomme-gutte,	»	De l'orangé.
Vert jaunâtre,	»	Du jaune et de l'orangé.
Vert,	»	Du jaune et de l'orangé (blanchâtre).
Vert bleu,	»	Presque du blanc.
Bleu cyané,	»	Du gris.
Bleu de Prusse.	»	Un pourpre rouge ou un violet bleu.
Bleu d'outremer,	»	Un pourpre rouge ou un violet bleu.
Violet,	»	Un pourpre rouge.
Violet pourpre,	»	Un pourpre rouge.
Pourpre,	»	Un rouge pourpre ou du rouge.
Noir,	»	Un rouge sombre.

Tableau III.

Une lumière verte tombant sur un papier teinté de

Carmin,	donne............	Un jaune terne.
Vermillon,	»	Un jaune terne ou un jaune verdâtre.
Orangé,	»	Du jaune et du jaune verdâtre.
Jaune de chrome,	»	Un vert jaunâtre.
Gomme-gutte,	»	Un vert jaunâtre.
Vert jaunâtre,	»	Un vert jaunâtre.
Vert,	»	Un vert brillant.
Vert bleu,	»	Du vert.
Bleu cyané,	»	Un vert bleu.
Bleu de Prusse,	»	Du vert bleu, du bleu cyané.
Bleu d'outremer,	»	Du bleu cyané, du bleu.
Violet,	»	Du bleu cyané, du bleu, du bleu violet (tous blanchâtres).
Violet pourpre,	»	Un vert bleu pâle, un bleu pâle.
Pourpre,	»	Un gris verdâtre, du gris, un gris rougeâtre.
Noir.	»	Un vert sombre.

Tableau IV.

Une lumière bleue tombant sur un papier teinté de

Carmin,	donne..........	Du pourpre.
Vermillon,	»	Un pourpre rouge.
Orangé,	»	Un pourpre blanchâtre.
Jaune de chrome,	»	Un gris jaunâtre, un gris verdâtre.
Gomme-gutte,	»	Un gris jaunâtre, un gris verdâtre.

Vert jaunâtre.	donne..........	Un gris bleu.
Vert,	»	Un vert bleu, du bleu cyané.
Vert bleu,	»	Du bleu cyané, du bleu.
Bleu cyané,	»	Du bleu.
Bleu de Prusse,	»	Du bleu.
Bleu d'outremer,	»	Du bleu.
Violet,	»	De l'outremer, du bleu violet.
Violet pourpre,	»	Un violet bleu.
Pourpre,	»	Un bleu violet, un violet pourpre.
Noir,	»	Un bleu foncé.

L'ensemble de ces expériences prouve que, si l'on veut prévoir les effets que donnera l'action d'une lumière colorée sur des surfaces colorées elles-mêmes, il faut se laisser guider surtout par les lois qui régissent les mélanges de lumières colorées plutôt que par celles que l'on peut déduire de l'expérience des matières colorantes; ces premières lois nous enseignent en effet, lorsque nous étudions d'après nature, à suivre sans crainte les indications même les plus fugitives de l'œil, sans nous inquiéter si elles sont en contradiction avec les leçons de la palette.

Passons maintenant aux changements de teinte qu'éprouvent les surfaces colorées qui reçoivent la lumière d'une lampe à huile ou à gaz. Si, dans nos expériences sur cette question, nous nous contentons de regarder à la lumière de la lampe les surfaces colorées mises dans une chambre qu'éclaire cette même lampe, il nous sera impossible d'arriver à des résultats exacts, car en suivant cette méthode nous nous serons rendus pratiquement daltoniens, et notre œil n'aura plus la faculté d'apprécier toute une série de teintes d'une manière correcte. Les rayons violets, bleus et vert bleuâtre manquent à la lumière du gaz, dont la résultante est, par conséquent, jaune orangé au lieu d'être blanche. Si nous sommes plongés dans cette lumière, elle nous paraîtra blanche, et notre appréciation de toutes les couleurs sera plus ou moins faussée : les surfaces jaunes sembleront blanches ou blanchâtres; les surfaces bleues, d'un bleu plus grisâtre, ou, si elles sont d'un bleu pâle, elles sembleront même gris pur. Voici une méthode simple que nous avons imaginée pour étudier les changements réels que détermine l'action de la lumière artificielle : nous mettons une chambre noire dans une salle éclairée par la lumière du jour; en face, et à une petite distance, nous plaçons une flamme de gaz, ou bien celle d'une lampe à huile, de manière que l'objectif de la chambre noire en donne l'image à peu près en demi-grandeur

(fig. 63). Nous faisons alors tomber cette image sur des étoffes ou des papiers colorés que nous avons disposés en S, de l'autre côté de l'objectif; nous la regardons, comme l'indique la figure, par le haut de la chambre noire, et nous notons la teinte obtenue. Dans les expériences que nous avons faites ainsi, nous nous sommes servi de la flamme du gaz et d'une série de disques peints présentant les principales couleurs. Ces disques, au nombre de quatorze, seront

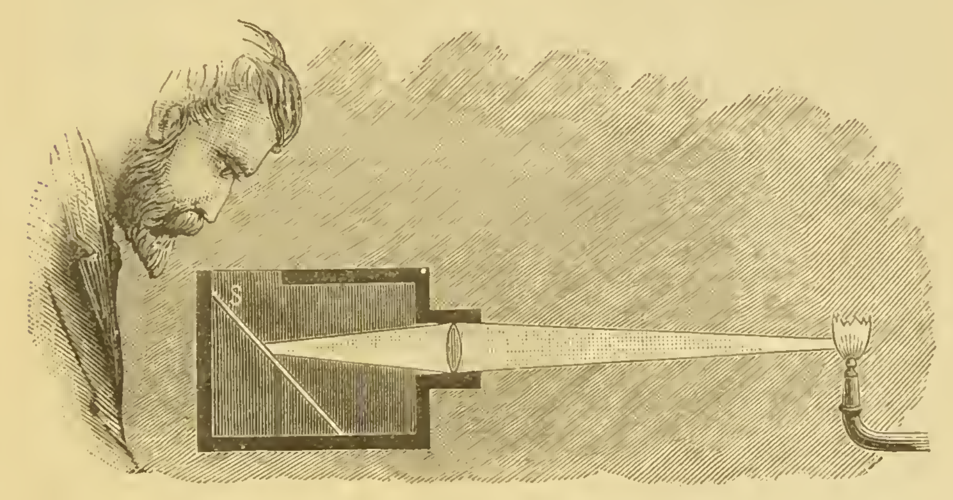


Fig. 63. — La lumière d'un bec de gaz est concentrée par l'objectif d'une chambre noire, et tombe sur un papier coloré.

décrits dans le chapitre suivant, et formaient sept couples de couleurs complémentaires deux à deux. Voici les résultats que nous avons obtenus :

1° Un disque carmin, éclairé par la flamme du gaz, prend une teinte rouge intense, plus brillante encore que si on le regarde au jour; le disque complémentaire, peint en vert bleu, semble d'un vert jaunâtre plutôt pâle que saturé.

2° Le vermillon paraît d'un rouge feu intense; son complément, le bleu vert, perd de sa force et devient vert jaunâtre et un peu pâle.

3° L'orangé paraît brillant; le bleu cyané, son complément, devient jaune verdâtre et perd de sa saturation.

4° Le jaune devient brillant et tire légèrement sur l'orangé; son complément, le bleu, paraît blanc ou plutôt gris pur. Nous examinons aussi des disques peints en jaune de chrome : deux d'entre eux sont rendus un peu jaune orangé; le troisième prend une teinte presque orangée. Un disque peint en gomme-gutte devient presque orangé sous l'influence de la lumière du gaz.

5° Le jaune verdâtre passe au jaune pur; son complément, le bleu d'outremer artificiel, paraît violet.

6° Le jaune *verdâtre* devient jaune pur; son complément, le violet, passe au pourpre rouge bien net.

7° Le vert franc devient un vert jaunâtre brillant et bien net; son complément, le pourpre, prend une teinte rouge pourpré intense, qui montre moins de bleu qu'à la lumière naturelle.

Voilà les changements réels déterminés par la lumière artificielle, tels que les voit l'œil placé dans la lumière naturelle, et capable, par conséquent, d'en noter d'une manière correcte les différentes teintes. En examinant les disques le soir, à la lumière du gaz, nous sommes arrivés dans bien des cas à un résultat différent. Les disques carmin et vermillon paraissent toujours très brillants; la teinte du premier est rouge pur, tandis que le vermillon tire sur l'orangé rouge. Le disque orangé présente une teinte orangée plus rouge; le jaune, au contraire, semble plus pâle. Les disques jaune verdâtre sont à peine changés. Le vert franc est intense, et semble peut-être plus bleuâtre qu'à la lumière naturelle. Le vert bleu tend à se confondre avec le bleu; le bleu cyané et le bleu, avec le vert; le bleu d'outremer artificiel paraît plus pourpré qu'à la lumière naturelle; le violet devient pourpre, et le pourpre prend une teinte très rouge. Nous avons aussi examiné à cette occasion quelques autres disques : la gomme-gutte et le jaune de chrome ont perdu de leur saturation et paraissent blanchâtres; l'indigo devient d'un gris verdâtre terne; le bleu de Prusse se confond avec le vert bleu; le bleu d'outremer naturel reste toujours bleu, mais tire légèrement sur le pourpre; le bleu de cobalt manifeste la même tendance, qui atteint son maximum pour le bleu de France. Tous les bleus semblent beaucoup plus ternes et plus gris qu'à la lumière naturelle.

En comparant ces deux séries d'expériences, on voit quelle influence le fait de la couleur jaune de la lumière ambiante a exercée sur l'appréciation des couleurs, puisqu'il en résultait qu'une certaine nuance de jaune passait pour du blanc, et donnait un terme de comparaison inexact auquel nous rapportions toutes les couleurs. Ce fait est surtout frappant pour les disques jaunes; en réalité, comme l'a bien montré la première série d'observations, ils réfléchissaient une quantité considérable de lumière jaune, et, si l'on n'envisage que l'action physique, ils auraient dû produire la sensation d'une forte teinte jaune brillant; mais comme la lumière du gaz rendait

jaunes toutes les surfaces qui auraient dû être blanches, cet effet pâlissait les disques jaunes. Voici un autre exemple qui fait encore mieux ressortir cette erreur d'appréciation. Dans la première série d'expériences, nous avons vu le disque bleu éclairé par la flamme du gaz prendre réellement une teinte gris pur sans aucune trace de bleu; mais le soir, bien qu'il dût envoyer à l'œil cette même lumière gris pur, il paraissait toujours ou bleu, ou bleu verdâtre, ou vert bleuâtre; en d'autres termes, le disque bleu, quand on le présentait à la flamme du gaz, envoyait à l'œil de la lumière blanche, qui paraissait *bleue* par contraste avec la lumière jaune ambiante. Il est à peine nécessaire d'ajouter que ces causes ont une très grande influence sur notre appréciation des peintures et des ornements colorés le soir : les bleus sont affaiblis, les gris bleus sont presque toujours effacés, et les jaunes perdent une partie de leur intensité. Le bleu d'outremer naturel souffre moins que les autres bleus; le bleu de cobalt et l'outremer artificiel deviennent pourprés, et le bleu de Prusse tout à fait verdâtre. Il en résulte que les peintures dans lesquelles les tons bleus sont un peu exagérés gagnent souvent à être vues à la lumière du gaz; c'est tout le contraire lorsque les teintes vertes sont un peu trop fortes, parce que la lumière artificielle semble souvent accroître ce défaut; au fond, il n'y a là qu'une erreur d'appréciation, puisque les verts prennent en réalité une apparence plus jaunâtre à la lumière du gaz ou d'une lampe, comme on l'a vu dans la première série de nos expériences. De là il suit que, si la composition chromatique d'un tableau est correcte pour la lumière naturelle, elle sera plus ou moins incorrecte à la lumière du gaz; ainsi il faudrait trouver moyen d'éclairer les galeries de tableaux le soir avec une lumière artificielle *blanche*, problème que l'avenir résoudra sans doute.

Toutes les apparences que nous avons considérées jusqu'ici pourraient être observées et étudiées d'une manière satisfaisante par une personne qui n'aurait qu'un œil. Portons maintenant notre attention pendant quelques instants sur des phénomènes très remarquables qui se produisent lorsqu'on ne présente pas la même couleur aux deux yeux. Ce cas se présente quelquefois, notamment lorsqu'on regarde les images réfléchies par des surfaces polies ou par l'eau. Pour simplifier la question, supposons, par exemple, qu'on présente de la lumière jaune à l'œil droit et de la lumière bleue au gauche. Il est très facile

de faire une expérience de ce genre à l'aide du stéréoscope. Choisissant un des sujets ordinaires sur papier, après l'avoir colorié comme l'indique la figure 64, nous le regardons au stéréoscope. Nous avons déjà vu que la lumière bleue et la lumière jaune, lorsqu'elles arrivent au même œil, se mélangent sur la rétine et déterminent la sensation à laquelle on donne le nom de blanc. Ceci nous ferait croire, assez naturellement, que, si l'on présente de la lumière bleue à l'œil droit et de la jaune à l'œil gauche, les deux sensations s'uniront dans le cerveau et provoqueront la sensation du blanc. Mais l'effet réel est bien plus compliqué. Vue au stéréoscope, la figure dont il s'agit paraîtra tantôt bleue, tantôt jaune, comme si elle changeait sans cesse de couleur; quelquefois aussi, l'observateur croira voir une couleur à travers l'autre et distinguer nettement les deux, qui semblent occuper la même place, comme si l'objet pouvait avoir deux couleurs diffé-

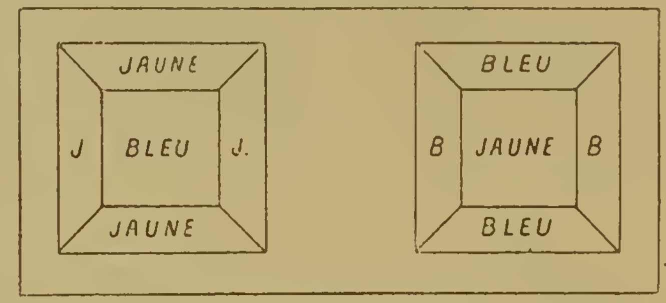


Fig. 64. — Plaque de stéréoscope dans laquelle l'image de droite et celle de gauche ne sont pas de la même couleur.

rentes à la fois. En même temps, la petite image prend un grand éclat, comme si elle était en verre poli; cet effet est très beau et frappe d'un certain étonnement ceux qui le voient pour la première fois. Quand on a acquis un peu d'habitude, on voit de temps en temps le bleu et le jaune se fondre pendant quelques secondes en une teinte brillante gris bleu ou gris pur; après quoi reparaissent les fantômes contradictoires et embarrassants du début. Considéré dans son ensemble, cet effet est merveilleux et semble constituer une sensation nouvelle. On a beaucoup discuté la question de savoir si un véritable mélange des deux couleurs s'opère réellement dans le cerveau. Les expériences de Haldat et de Dove, et celles faites plus tard par Lubeck, Foucault et Régnault, sont toutes en faveur de cette manière de voir. Mais il faut avouer que le mélange obtenu par cette méthode diffère sous un rapport de ceux que nous avons décrits précédemment. En effet, lorsque nous mélangeons des lumières colorées au moyen de

disques tournants ou par la méthode de Lambert, nous ne voyons que la teinte résultante, et les deux composantes disparaissent entièrement pour lui céder la place. Au contraire, dans ce mélange binoculaire des couleurs, la présence de chacune des couleurs primitives se fait constamment sentir, et nous sommes disposés à dire que nous voyons une teinte neutre ou grise qui est évidemment composée de bleu et de jaune. Des expériences que nous avons faites avec soin ont prouvé que la teinte du mélange véritable diffère souvent de celle que l'on voit au stéréoscope, mais les couleurs pâles s'unissent plus facilement que les couleurs intenses, et donnent des résultats moins divergents [1]. Le mélange binoculaire des couleurs les fait toujours paraître plus ou moins lustrées; il n'est pas même nécessaire pour cela d'employer des couleurs différentes, car cet effet est également produit par le mélange de deux teintes, l'une claire et l'autre foncée, de la même couleur, ou simplement par l'union binoculaire du bleu et du noir, comme Dove l'a très bien montré. L'éclat des vagues, des ondulations et des reflets de l'eau se produit surtout de cette façon, et par conséquent ne peut en réalité être imité par les peintres, qui sont nécessairement forcés de présenter les mêmes couleurs, les mêmes teintes claires ou sombres, également aux deux yeux. C'est par des raisons du même genre que le vernis donne à une peinture à l'huile, et le verre à une aquarelle, un aspect un peu lustré : les yeux voient la peinture à travers la lumière légèrement réfléchie par le verre ou le vernis, et semblent pouvoir pénétrer au-delà de la surface colorée, et cette légère illusion s'accorde avec l'intention du peintre et lui vient en aide.

1. *American Journal of Science*, mai 1865.

CHAPITRE XI

LES COULEURS COMPLÉMENTAIRES

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que le mélange de deux faisceaux de lumière colorée donne, dans certains cas, de la lumière blanche ; c'est ce que fait, par exemple, le mélange du bleu d'outremer et du jaune, ou encore celui du rouge et du bleu verdâtre. Toutes les fois que deux couleurs produisent de la lumière blanche en se mêlant, elles sont dites complémentaires. Il est important pour ceux qui recherchent les effets artistiques d'avoir une connaissance exacte de la nature et de l'aspect des couleurs complémentaires, car ces couleurs fournissent les contrastes les plus marqués qu'il soit possible d'obtenir. La meilleure manière, et en réalité la seule, de connaître l'aspect des couleurs qui sont complémentaires, c'est de les étudier à l'aide d'appareils convenables. Lorsqu'on fait ces expériences, il faut en enregistrer les résultats au moment même, non par écrit, mais en reproduisant autant que possible les teintes réelles avec le pinceau et la palette. La lumière polarisée permet d'obtenir facilement et avec certitude une série nombreuse de couleurs qui sont réellement complémentaires. Il existe un grand nombre d'instruments dont on peut se servir pour cela; mais peut-être le plus simple et le meilleur est-il celui que Brücke a inventé tout exprès, et auquel il a donné le nom de schistoscope (fig. 65). Ce petit instrument n'est que la combinaison d'un microscope simple peu puissant et d'un polariscope ; il est donc facile à construire. En commençant par la partie inférieure, nous trouvons en P un morceau de carte blanche, fixé au support comme l'indique la figure, et disposé de manière à tourner pour renvoyer en haut plus ou moins de lumière blanche, suivant les besoins. N est un prisme de Nicol, qui polarise la lumière ainsi réfléchie ; il est attaché à un support noirci S. En A se trouve

une petite ouverture carrée de deux millimètres de côté. C est un cristal de spath d'Islande ; L, une lentille convexe dont la distance focale est telle que les deux images de l'ouverture A données par le spath d'Islande viennent juste se toucher. G et G sont des coins de verre poli présentant des angles de 18° ; pour les expériences où l'on ne vise pas à une très grande exactitude, on peut s'en passer. Pour se servir de cet appareil, on commence par déplacer le tube qui contient le spath d'Islande jusqu'à ce que l'œil placé en L voie distinctement l'ouverture carrée A, ou plutôt les *deux* ouvertures carrées que l'instrument fait paraître ; puis on fait tourner le tube jusqu'à

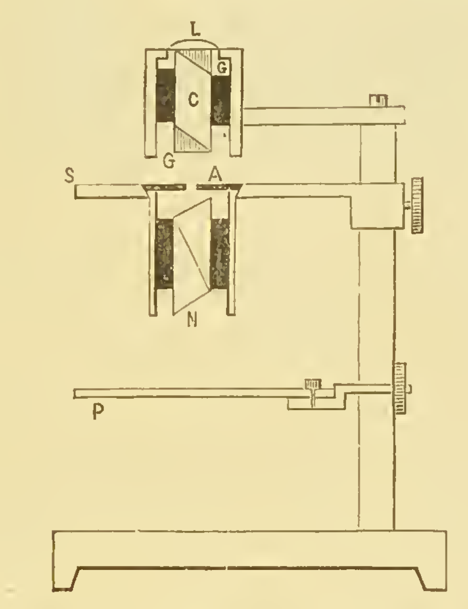


Fig. 65. — Schistoscope de Brücke, servant à produire des couleurs complémentaires.

ce qu'une de ces images disparaisse entièrement, et on le laisse dans cette position. Il faut se procurer d'avance un grand nombre de plaques minces de sélénite ou sulfate de chaux cristallisé. Si l'on prend un morceau clair et transparent de cette substance. on pourra facilement, avec un canif, le cliver en deux ou trois cents plaques minces ; ensuite on choisira à l'aide du schistoscope celles qui valent la peine d'être conservées. Pour observer les couleurs, il suffit de poser une des plaques sur le support entre le prisme de spath d'Islande et le prisme de Nicol, et de tourner ensuite la sélénite jusqu'à ce qu'on aperçoive deux carrés de couleurs brillantes, comme l'indique la figure 66. Ces deux carrés auront toujours des couleurs complémen-

taires. Si l'on prépare un grand nombre de ces plaques de sélénite c'est pour obtenir une série nombreuse de teintes complémentaires. Les plaques les plus minces donnent des couleurs plus saturées ; les



Fig. 66. — Couleurs complémentaires présentées par le schistoscope de Brücke.

plaques épaisses donnent des couleurs pâles, c'est-à-dire mêlées de beaucoup de lumière blanche. Voici une série de couleurs complémentaires que nous avons ainsi obtenues :

TABLEAU DES COULEURS COMPLÉMENTAIRES.

Rouge	Bleu vert [1].
Orangé	Bleu cyané.
Jaune	Bleu d'outremer [2].
Jaune verdâtre	Violet.
Vert	Pourpre.

Dans la figure 67, ces couleurs complémentaires sont disposées en cercle. Bien entendu, nous n'y pouvons faire entrer que quelques-uns des couples. Les teintes qui se trouvent entre le rouge et l'orangé auront des compléments situés entre le bleu verdâtre et le bleu cyané;

1. La plupart des auteurs suivent l'exemple de Helmholtz, et donnent le vert bleuâtre comme complément du rouge. Mais les observations de Helmholtz ont été faites sur le spectre, avec un champ peu étendu, et en ne se servant que d'un seul œil. De nombreuses observations faites avec des disques colorés, dont on peut étudier les teintes d'une manière plus naturelle et en se servant des deux yeux à la fois, nous ont convaincu que le complément du vermillon est un bleu très vert, et que même celui du carmin est un bleu très vert plutôt qu'un vert bleu.

2. Le complément du bleu d'outremer naturel est le jaune, tandis que celui de l'outremer artificiel est un jaune verdâtre. La couleur artificielle, ou bleu de France, est un bleu violet.

celles qui sont entre l'orangé et le jaune trouveront leurs compléments entre le bleu cyané et le bleu d'outremer, etc. Comme nous l'avons déjà dit, il est bon de reproduire à l'aquarelle les résultats obtenus ;

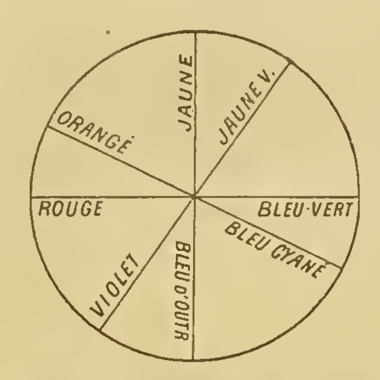


Fig. 67. — Couleurs complémentaires disposées en cercle.

ce moyen grave les faits dans la mémoire bien mieux qu'un simple coup d'œil de quelques instants.

L'étude des couleurs complémentaires à l'aide du spectre est bien plus compliquée ; néanmoins il est intéressant pour nous de savoir que celui-ci donne les mêmes résultats que l'emploi de la lumière polarisée. Il est un autre point qui mérite d'être considéré. On pourrait supposer que la luminosité, ou l'éclat apparent, de couleurs qui sont complémentaires doit être la même, mais il est loin d'en être ainsi : le jaune, par exemple, est bien plus lumineux que le bleu, son complément ; la différence entre le jaune verdâtre et le violet est plus grande encore. En se servant des couleurs pures du spectre, Helmholtz a constaté que l'ordre de luminosité des couleurs complémentaires est à peu près le suivant :

Jaune.
Orangé et vert presque sur le même rang.
Rouge et bleu cyané presque sur le même rang.
Bleu d'outremer.
Violet.

De là il résulte qu'un violet qui à l'œil semble très sombre peut faire équilibre à un jaune verdâtre brillant, et donner avec lui du blanc ; il en est de même du bleu d'outremer et du jaune ; le rouge et son complément le bleu vert ont à peu près la même luminosité ; l'orangé paraît un peu plus brillant que son complément le bleu cyané. Il y a une autre manière encore d'exprimer ces faits : nous

pouvons dire que, dans les mélanges, le violet a une plus grande puissance de saturation que toutes les autres couleurs ; ensuite viennent le bleu d'outremer, puis le rouge et le bleu cyané, etc.

L'emploi de la lumière polarisée et des plaques de sélénite pour l'étude des couleurs complémentaires est une méthode à la fois simple et belle, mais il y a bien des cas qui y échappent ; son plus grave défaut est de ne pas nous donner les moyens de reconnaitre les teintes complémentaires justement pour les cas tout particulièrement intéressants, c'est-à-dire pour les couleurs employées en peinture. Cela vient de ce que les couleurs que donnent les plaques de sélénite sont pour la plupart semblables à celles du spectre, seulement plus ou moins étendues de lumière blanche. C'est en vain que nous y chercherions de bons représentants des verts olive ou des bruns chocolat, et de bien d'autres teintes ordinaires. Un des problèmes qui se présentent le plus fréquemment, c'est celui de trouver la couleur complémentaire de quelque matière colorante particulière ou

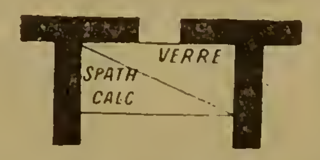


Fig. 68. — Prisme achromatique de spath calcaire.

de quelque mélange de couleurs. Pour arriver à une solution approchée des questions de ce genre, on peut se servir d'une méthode imaginée par Dove : On peint avec la couleur en question un petit carré de papier ayant au plus 25 millimètres de côté, on le met sur une feuille de papier noir, et on le regarde à travers un prisme de spath calcaire rendu achromatique. Ce prisme est représenté par la figure 68 ; il a la propriété de donner, lorsqu'on le tient devant l'œil, deux images également brillantes des objets que l'on regarde au travers. Nous l'employons dans cette expérience au lieu d'un prisme de spath calcaire simple, parce qu'il sépare plus les deux images, et permet par conséquent l'emploi de plus grands carrés de papier coloré. Comme la recherche de la couleur complémentaire d'une couleur donnée est une pure recherche expérimentale, il faut maintenant prendre un second carré de papier, aussi de 25 millimètres de côté, et le peindre de la couleur que nous supposons être le complément de la première, puis combiner ensemble les deux papiers colorés à l'aide du prisme de spath. Supposons qu'il s'agisse

de trouver le complément d'un brun rougeâtre terne. Mettons le carré brun rouge sur le papier noir ; à côté plaçons un second carré peint en gris vert bleuâtre terne, et arrangeons-nous de manière à superposer une image du papier brun rouge à une de celles que fournit le papier gris bleu. Si les deux couleurs sont complémentaires, leurs images combinées donneront du blanc, ou plutôt du gris pur. Si au lieu de gris on obtient une couleur tirant sur le gris rougeâtre ou le gris bleuâtre, il faut modifier en conséquence la couleur du second carré de papier. Pour faciliter cette opération, il est bon de comparer constamment la teinte obtenue à celle d'un carré de papier gris pur, que l'on met sur la même feuille de papier noir. Lorsqu'on sera arrivé au

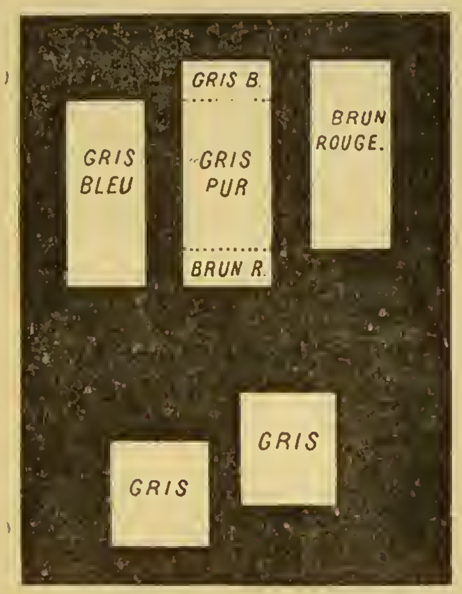


Fig. 69. — Du brun rouge et du gris bleu sont combinés dans l'image centrale, et donnent du gris pur. Au-dessous se trouve un petit carré gris qui sert de terme de comparaison.

résultat voulu, l'aspect des choses sera celui que représente la figure 69.

Il y a cependant deux objections pratiques à faire à ce mode d'expérimentation : la première, c'est que le spath calcaire diminue la luminosité de chacun des papiers colorés ; et la seconde, que l'imperfection des moyens de comparaison nous porte à accepter comme gris pur tout ce qui approche de cette teinte. Quand on tient à l'exactitude des résultats, il vaut bien mieux se servir des disques de Maxwell, comme nous allons l'indiquer [1]. Supposons qu'il s'agisse d'obtenir le

1. Pour la description des disques de Maxwell, nous renvoyons le lecteur au chapitre précédent.

complément d'un rouge vermillon un peu sombre. Voici comment nous opérons : nous peignons un disque de la teinte en question, et nous le combinons avec deux autres, l'un vert émeraude et l'autre bleu d'outremer, parce que nous savons d'avance que la couleur cherchée sera un vert bleuâtre, ou à peu près. L'expérience est représentée par la figure 70, où l'on voit aussi de plus petits disques, l'un noir et l'autre blanc, disposés sur le même axe pour avoir un gris pur qui serve de terme de comparaison. Notons que le rouge occupe juste la moitié du disque, c'est-à-dire 50 parties; les 50 autres doivent

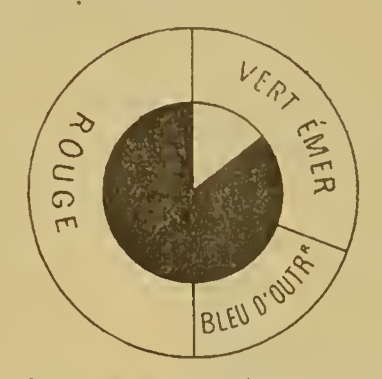


Fig. 70. — Disques vert émeraude et bleu d'outremer arrangés de façon à neutraliser le rouge et à produire avec lui un gris pur. Au centre, disques noir et blanc pour produire un gris pur.

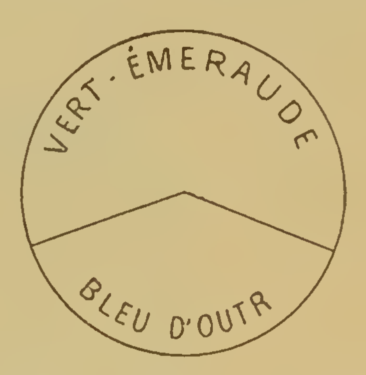


Fig. 71. — Disques vert émeraude et bleu d'outremer arrangés de manière à donner la couleur complémentaire du rouge.

être partagées entre le bleu et le vert, selon que l'expérience l'indiquera. Le résultat montre que 50 parties de rouge sont neutralisées par 31 de vert émeraude et 19 de bleu d'outremer artificiel ; ces trois couleurs donnent un gris identique à celui que fournissent 13 parties de blanc et 87 de noir. En mettant ce résultat sous forme d'équation, nous avons :

50 rouge + 31 vert émer. + 19 bleu d'outr. = 13 blanc + 87 noir.

Il nous reste maintenant à mélanger le vert émeraude et le bleu d'outremer dans la proportion de 31 à 19, ce qui nous donnera évidemment le complément exact de notre rouge. Comme dans la dernière expérience ces deux couleurs occupaient ensemble la moitié du disque, il faut évidemment doubler leur coefficient si elles doivent être étendues sur un disque entier ; nous les combinerons donc en mettant 62 parties de vert et 38 de bleu (fig. 71). Lorsque ce disque composé tourne rapidement, il nous offre avec exactitude le complément de

notre rouge. Il est rare que la pratique donne un résultat aussi complet que celui-ci ; car évidemment, si le rouge avait été plus lumineux, il aurait été impossible d'en neutraliser 50 parties avec 50 du bleu et du vert, de quelque façon qu'on les combinât : la teinte résultante aurait toujours été un gris *rougeâtre*. Au contraire, si le rouge avait été moins lumineux, une difficulté analogue se serait présentée : la teinte résultante aurait toujours été d'un vert un peu bleuâtre, au lieu d'être gris pur.

Voici une expérience faite par nous et qui montre la façon dont les choses se passent d'ordinaire, ainsi que la nature du résultat auquel on doit s'attendre. Nous cherchions le complément d'un jaune terne, rappelant un peu la couleur du carton de cette nuance. Nous avons peint un disque de cette couleur, et nous l'avons combiné avec un autre, peint en bleu d'outremer artificiel, en faisant toujours intervenir, bien entendu, les petits disques blanc et noir. En faisant tourner cette combinaison de disques, nous n'avons absolument pas pu obtenir le gris pur, de quelque façon que nous fissions varier les proportions du bleu et du jaune ; le meilleur résultat réalisable a été une teinte gris pourpré. Cela indiquait évidemment la nécessité d'ajouter au bleu un peu de vert ; nous avons donc ajouté aux deux autres un disque vert émeraude, et nous avons constaté que 41 parties de jaune, combinées avec 45 de bleu d'outremer et 14 de vert émeraude, donnaient un gris identique à celui fourni par 24 parties de blanc et 76 de noir. Voici l'équation qui représente cette expérience :

$$41 \text{ jaune} + 45 \text{ bleu} + 14 \text{ vert} = 24 \text{ blanc} + 76 \text{ noir.}$$

De là il suit que, si nous mélangeons du bleu d'outremer et du vert émeraude dans la proportion de 45 à 14, nous aurons une couleur complémentaire de notre jaune. Nous partageons alors 100 dans ce rapport, ce qui donne 76,3 parties pour le bleu, et 23,7 pour le vert; nous combinons dans ce rapport le disque bleu et le disque vert, et la rotation nous donne la couleur complémentaire, qui est un beau bleu. Toutefois ce bleu est un peu plus foncé que le véritable complément de notre jaune, car dans la première expérience le jaune n'occupait pas tout à fait la moitié du disque, c'est-à-dire 50 parties, mais seulement 41 ; si nous lui avions attribué la moitié du disque, les autres couleurs n'auraient pas été assez lumineuses pour lui faire équilibre, et nous n'aurions pas eu de gris. Il est

facile de calculer de combien la teinte obtenue comme complément du jaune est trop sombre : si nous représentons par 100 la luminosité du véritable complément, alors celle que nous obtenons réellement est 69,5 [1]. Par conséquent, lorsque nous nous servirons de ce complément, il faudra toujours tenir compte de ce qu'il est moins lumineux que le complément véritable dans la mesure que nous venons d'indiquer. En outre, il était impossible d'arriver à un meilleur résultat avec les disques bleu et vert dont nous nous sommes servi ; pour obtenir quelque chose de mieux, il aurait fallu modifier les disques de manière à leur faire renvoyer à l'œil plus de lumière bleue et de lumière verte. D'un autre côté, si dans l'origine ils avaient réfléchi trop de lumière verte et de lumière bleue, nous aurions pu corriger ce défaut au moyen d'un disque noir, et obtenir avec exactitude le complément véritable. D'où il suit que nous pouvons obtenir avec exactitude le *véritable* complément d'une couleur donnée, seulement dans les cas où nous disposons de représentants de cette couleur complémentaire qui soient assez intenses, c'est-à-dire, en même temps lumineux et saturés. Il en résulte pour la pratique qu'il est impossible d'obtenir directement les teintes complémentaires des couleurs chaudes les plus intenses — carmin, vermillon, minium, jaune de chrome, — parce que les couleurs plus froides — vert émeraude, bleu de cobalt, bleu de Prusse, outremer, etc. — sont toutes bien moins intenses que les premières.

Il est souvent fort commode d'avoir une série de disques assortis deux à deux, de manière à représenter les principales couleurs complémentaires. Sans doute, il faudrait beaucoup de temps et de patience pour préparer une série dans laquelle les couleurs fussent tout à fait exactes sous le double rapport de la teinte et de la luminosité ; d'ailleurs dans cette série, avec les matières colorantes dont nous disposons, les teintes rouges et orangées seraient tout à fait ternes, et les jaunes ne seraient guère que des bruns ou des verts olive, par la raison que nous avons déjà exposée. Nous avons nous-même tout récemment préparé une série de disques dont les teintes étaient presque correctes, et les luminosités aussi favorables qu'il était possible de les obtenir sans une trop grande dépense de temps et de peine. Nous avons également déterminé les intensités relatives des

1. Voyez l'appendice à ce chapitre.

différents couples, ainsi que les quantités de lumière blanche qu'ils donnaient.

TABLEAU DE DISQUES COMPLÉMENTAIRES

COULEUR	INTENSITÉ	COULEUR	INTENSITÉ	Quantité de lumière blanche fournie par chaque couple.
Carmin.	100	Vert bleu.	68,6	25
Vermillon.	100	Bleu vert.	56,2	25,3
Orangé.	100	Bleu verdâtre.	88,7	27,2
Jaune.	100	Bleu.	64,5	25,6
Jaune-verdâtre.	89,7	Bleu de France.	100	28,9
Jaune-*verdâtre*.	88,7	Violet.	100	32.2
Vert.	100	Pourpre.	86,9	25,7

On remarquera que nous avons essayé de disposer la série de façon que, dans chaque cas, elle donne, autant que possible, presque la même quantité de lumière blanche, afin que sous ce rapport les disques soient à peu près sur un pied d'égalité. Pour le détail des couleurs dont nous nous sommes servi, nous renvoyons le lecteur à l'appendice à ce chapitre. Avec le secours de cette série de disques complémentaires, on peut produire rapidement des centaines ou même des milliers de couples de couleurs complémentaires. Pour cela, il suffit de combiner un couple quelconque soit avec du blanc, soit avec du noir, soit enfin avec tous deux à la fois. Par exemple, tous les rouges plus foncés que le carmin peuvent s'obtenir en combinant le disque carmin avec différentes proportions d'un disque noir, et les couleurs complémentaires correspondantes seront fournies par le disque vert bleu traité d'une façon semblable; de même, les rouges plus pâles que le carmin et leurs compléments s'obtiennent par l'addition d'un disque blanc; enfin, tous les gris rouges et les verts bleus complémentaires sont produits par l'addition d'un disque blanc et d'un disque noir à l'un ou à l'autre des deux disques colorés. Ceci montre que, bien qu'une série de disques de cette espèce donne une certaine peine au début, elle fait plus que compenser cette peine dans la suite, en nous fournissant rapidement une série étendue de couleurs qui sont ou réellement complémentaires sous tous les rapports, ou défec-

tueuses seulement au point de vue de la luminosité, et cela à un degré facile à calculer.

Nous abordons maintenant un point qui, à première vue, pourra sembler étrange. Nous avons vu que chaque couleur a sa couleur complémentaire ; mais ce n'est pas tout : chaque couleur a un grand nombre de couleurs complémentaires différentes. Citons une expérience pour mieux nous faire comprendre. Supposons qu'il s'agisse d'étudier les couleurs complémentaires de celle de notre disque bleu vert : nous combinons ce disque avec un disque vermillon dont il est complémentaire, de manière à avoir 50 parties de bleu vert et autant de vermillon qu'il est nécessaire. Or, comme il faut bien moins de 50 parties de vermillon pour représenter le complément de notre bleu vert, nous remplissons avec du noir l'espace laissé vide par le vermillon. Après avoir été ajusté de manière à donner du gris, le disque présente la disposition qu'indique la figure 72 ; nous trouvons que 50 parties de bleu vert sont exactement neutralisées par 27 parties de vermillon, ce qui laisse 23 parties du disque à remplir par le noir. Pour rendre visible ce complément du bleu vert, nous combinons un disque noir et un disque vermillon dans le rapport de 23 à 27, ou, ce qui revient au même, dans celui de 46 à 54, et nous le faisons tourner (fig. 73). Cela nous donne un rouge vermillon un peu foncé ; c'est là



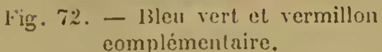

Fig. 72. — Bleu vert et vermillon complémentaire.



Fig. 73. — Ce disque donne par rotation un des compléments du bleu-vert.

un des compléments du bleu vert. Si maintenant nous remplaçons le noir de la figure 72 par du blanc, le rapport étant toujours celui de 46 à 54, nous obtenons une couleur de chair rougeâtre clair, qui présente une apparence toute différente du rouge foncé obtenu précédemment, mais qui est cependant le complément exact de notre bleu vert, puisqu'elle contient la même quantité de rouge. Si nous remplaçons peu à peu par du blanc les 46 parties de noir, nous obtien-

drons une série de teintes d'inégale luminosité, mais toutes rougeâtres et toutes complémentaires du même bleu vert. La série de disques complémentaires que nous avons indiquée plus haut facilite beaucoup l'étude des différentes apparences présentées par les couples de couleurs complémentaires dans ces circonstances.

Il est un autre point qui mérite encore d'être considéré. Supposons que nous choisissions au jour deux surfaces peintes de couleurs rigoureusement complémentaires, par exemple du rouge et du bleu vert. Si ensuite nous regardons ces mêmes surfaces à la lumière d'une lampe à huile ou à gaz, il ne s'ensuit pas du tout que les couleurs seront encore complémentaires. Il est aisé d'étudier cette question par la méthode expérimentale au moyen de notre série de disques complémentaires. Nous avons trouvé, avec la lumière naturelle, que 41 parties de carmin neutralisent 59 parties de bleu vert, et donnent un gris véritable; à la lumière du gaz, ces couleurs ne sont plus complémentaires, mais, dans les proportions que nous venons d'indiquer, fournissent un pourpre rouge assez fort. En opérant toujours à la lumière du gaz, nous réduisons le rouge à 29 parties, et nous portons le bleu vert à 71 ; la teinte du mélange devient alors moins rouge, mais il n'y a toujours pas neutralisation. Par l'influence de la lumière du gaz, les deux couleurs ont cessé d'être complémentaires, et, pour rétablir ce rapport entre elles, nous sommes forcés d'y ajouter 13,5 de vert. Nous constatons le même fait sur les couples suivants de couleurs complémentaires :

Vermillon et bleu vert.
Orangé et bleu cyané.
Jaune et bleu.

Pour le couple jaune verdâtre et bleu d'outremer, l'effet que nous venons d'indiquer est renversé : à la lumière du gaz, nous sommes forcés de diminuer un peu la proportion de jaune verdâtre et d'en remplacer une partie par de l'orangé. Les couples jaune verdâtre et violet, vert et pourpre, restent également complémentaires à la lumière du jour et à celle du gaz. Le tableau suivant montre les résultats obtenus lorsque les disques sont arrangés de manière à paraître complémentaires à la lumière du jour et à celle du gaz :

Couleurs.	Au jour.	Au gaz.
40,7 carmin et 59,3 bleu vert..................	Gris.	Pourpre rouge.
36 vermillon et 64 bleu vert..................	»	Rouge pourpré.
47 orangé et 53 bleu cyané	»	Rouge pourpré.
39,2 jaune et 60,8 bleu......................	»	Pourpre grisâtre.
52,7 jaune verdâtre et 47,3 bleu de France [1].	»	Gris verdâtre.
53 *jaune verdâtre* et 47 violet................	»	Gris [2].
46,5 vert et 53,5 pourpre.....................	»	Gris [2].

Voici les proportions lorsque les disques paraissent complémentaires à la lumière du gaz :

Couleurs.	Au jour.	Au gaz.
29 carmin, 57 bleu vert et 14 vert.......	Vert prononcé.	Gris [2].
27 vermillon, 57 bleu vert et 16 vert.....	»	»
37 orangé, 50 bleu cyané et 13 vert.....	Gris vert prononcé.	»
37,5 jaune, 56 bleu et 6,5 vert.....	Gris verdâtre.	»
45 jaune verdâtre, 48 bleu de France, 7 orangé.........................	Pourpré.	»
52 jaune *verdâtre*, 48 violet..............	Gris.	»
47 vert, 53 pourpre	»	»

Ces changements dépendent de deux causes. La première, c'est que la lumière du gaz n'a pas la même composition que la lumière blanche; dans celle-là, les rayons violets, les bleus et les bleu verdâtre sont relativement faibles, et, par suite, les disques soumis à son action doivent nécessairement changer d'aspect, le violet, le bleu et le bleu vert paraissant relativement plus foncés. Cependant cette circonstance nous obligerait seulement à employer une plus grande quantité de ces couleurs, sans exiger l'introduction de couleurs étrangères. La seconde cause dont il faut tenir compte, c'est qu'au gaz nous ne pouvons arriver à neutraliser deux couleurs l'une par l'autre que quand leur mélange a une teinte semblable à celle de l'éclairage général, laquelle, dans ce cas, est non pas blanche, mais jaune tirant sur l'orangé. Il résulte de ces expériences que, si du rouge ou de l'orangé doit être opposé à son complément à la lumière du gaz, il faudra donner à la couleur opposante une teinte plus verdâtre que ne le permettait la lumière naturelle; il en est de même, mais à un degré moindre, du jaune orangé et du jaune lui-même.

Laissant de côté pour un moment ces considérations pratiques, portons notre attention sur deux points théoriques qui ne sont pas sans

1. Bleu d'outremer artificiel.
2. En réalité, un jaune foncé, qui *semblait* gris à la lumière du gaz.

intérêt. Nous avons vu dans un des chapitres précédents que la couleur change avec la longueur des ondes lumineuses; ceci nous amène tout naturellement à rechercher s'il existe un rapport constant entre les longueurs des ondes qui déterminent en nous les sensations de couleurs complémentaires. En étudiant ce sujet au moyen d'une carte du spectre normal, nous reconnaissons que ce rapport n'existe pas, parce que le changement de couleur des différentes parties du spectre n'est pas directement proportionnel au changement des longueurs d'onde, comme nous l'avons fait voir dans un des chapitres précédents. Helmholtz a trouvé que le rapport qui existe n'est pas constant pour tous les différents couples de couleurs complémentaires, et qu'il varie même beaucoup. Pour certains couples, le rapport est celui de 1 à 2; pour d'autres, de 1 à 1,333 ; ou, si nous employions la notation musicale, nous dirions que le rapport varie depuis celui qui existe entre une note et sa quarte jusqu'à celui qui existe entre une note et sa tierce diminuée. C'est là un des faits nombreux qui sont fatals à toute théorie des couleurs que l'on veut fonder sur une base musicale.

L'autre point qui appelle notre attention est la manière dont les phénomènes des couleurs complémentaires sont expliqués par la théorie de Thomas Young. Nous avons vu plus haut qu'un mélange de lumière rouge, de verte et de violette, lorsqu'il frappe l'œil, détermine la sensation du blanc; puis nous avons constaté dans ce chapitre que la même sensation peut être déterminée par le mélange de *deux* couleurs seulement, choisies d'une manière convenable. Or, d'après la théorie de Young, la sensation du blanc se produit lorsque les trois espèces de fibrilles nerveuses dont la rétine est munie sont stimulées à peu près au même degré : d'où il doit résulter que *deux* couleurs peuvent stimuler toutes les trois espèces de nerfs aussi énergiquement que les *trois* couleurs fondamentales. C'est ce fait qu'il s'agit d'expliquer, et voici comment nous pouvons le faire pour les cas principaux :

Le rouge et le bleu vert sont des couleurs complémentaires, parce que la lumière rouge stimule les nerfs du rouge, et la lumière bleu vert à la fois ceux du vert et du violet; l'action simultanée des trois séries donne l'impression de la lumière blanche. Le couple suivant est l'orangé et le bleu cyané : la lumière orangée excite énergiquement les nerfs du rouge et un peu aussi ceux du vert; le bleu cyané met en jeu les nerfs du vert et ceux du violet; les trois séries de nerfs entrant en jeu, il en résulte la sensation du blanc. Les choses se passent à peu

près de même pour le jaune et le bleu d'outremer naturel : chacune de ces couleurs stimule deux séries de nerfs, c'est-à-dire que le jaune agit sur les nerfs du rouge et sur ceux du vert, et le bleu sur ceux du vert et ceux du violet. Si nous considérons le vert et le pourpre, la première de ces couleurs agit naturellement sur sa propre série de nerfs, et la seconde sur les nerfs du rouge et ceux du violet. Tout cela est rigoureusement d'accord avec les principes de la théorie de Young, comme on le verra en se reportant au chapitre que nous avons consacré à cette théorie.

Cette explication nous fait comprendre pourquoi lorsqu'on soustrait de la lumière blanche une couleur quelconque, la lumière qui reste offre toujours la couleur complémentaire de celle qui a été soustraite. Par exemple, si dans la lumière blanche nous supprimons les rayons orangés, le reste paraîtra d'un bleu cyané un peu pâle. Le tableau des couleurs complémentaires explique ce résultat; nous savons que :

Rouge et bleu vert,	donnent.............	du blanc.
Orangé et bleu cyané,	»	du blanc.
Jaune et bleu,	»	du blanc.
Jaune vert et violet,	»	du blanc.
Vert et pourpre,	»	du blanc.

Tous ces cinq couples de couleurs existent dans la lumière blanche. Si nous en retranchons l'orangé, alors le bleu cyané est la seule couleur qui ne soit pas neutralisée; toutes les autres couleurs s'équilibrent et produisent de la lumière blanche, qui se mêle au bleu cyané libre et le rend plus pâle. L'explication est la même pour tous les autres cas. Il suit de là que les couleurs complémentaires produites par l'élimination d'une des couleurs de la lumière blanche sont pâlies par la présence d'une quantité considérable de lumière blanche. Voilà pourquoi les couleurs complémentaires que donne la lumière polarisée sont toujours un peu pâles. Comme nous le verrons au chapitre suivant, la présence de cette lumière blanche altère même un peu la teinte de la lumière colorée à laquelle elle est mélangée; avec elle, le rouge tire sur le pourpre, l'orangé sur le rouge, le pourpre et l'outremer sur le violet.

Avant de terminer ce chapitre, il est bon de dire quelques mots du complément du jaune pur, et de ceux des diverses variétés des couleurs bleues les plus ordinaires. Plusieurs ouvrages indiquent comme complément du jaune le bleu indigo, le bleu d'outremer ou

simplement le bleu. Le bleu d'outremer *naturel* est complémentaire du jaune pur, et le complément du bleu d'outremer artificiel est un jaune verdâtre bien marqué. La gomme-gutte donne un jaune légèrement orangé ; elle a pour complément la couleur connue sous le nom de bleu de cobalt. Nous avons nous-même déterminé le complément du bleu de Prusse, et nous avons constaté que c'est un jaune un peu orangé ; pour l'obtenir, nous avons mélangé par la méthode des disques tournants 65 parties de jaune de chrome pâle et 35 parties de vermillon. Nous avons aussi déterminé avec soin le complément de l'indigo préparé pour l'aquarelle, et nous avons constaté qu'il est presque identique à celui du bleu de Prusse ; il en résulte qu'on peut considérer l'indigo comme la même chose qu'un bleu de Prusse foncé, et non pas, avec certains auteurs, comme du bleu d'outremer foncé. Newton a employé le mot indigo pour désigner le bleu le plus réfrangible du spectre ; mais il n'y correspond en aucune façon, et nous le remplaçons dans cet ouvrage par le mot bleu d'outremer. Si nous rangeons les différents bleus dans l'ordre que présente le spectre, nous aurons le bleu cyané, l'indigo ou bleu de Prusse, le bleu de cobalt, l'outremer naturel et l'outremer artificiel, et enfin un bleu violet. Parmi les couleurs jaunes, le jaune de chrome un peu orangé est complémentaire de l'indigo et du bleu de Prusse ; le jaune de chrome encore plus orangé trouve son complément plus près du bleu cyané.

APPENDICE AU CHAPITRE XI

La manière de calculer les intensités relatives de deux couleurs complémentaires est fort simple ; nous en donnons ici un exemple. Sup-

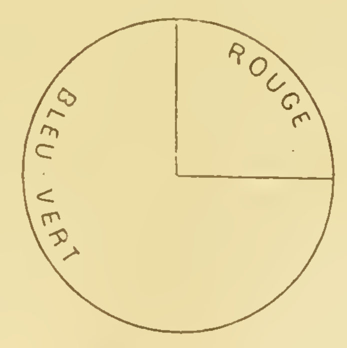


Fig. 74. — Disque avec 25 parties de rouge et 75 de bleu-vert.

posons que 25 parties d'un certain rouge neutralisent 75 parties d'un bleu vert. Le disque composé présentera alors l'aspect de la figure 74. Evidemment l'intensité du bleu vert n'est que le tiers de celle du

rouge, puisqu'il faut trois fois autant de bleu vert que de rouge pour opérer la neutralisation. Soit I la plus grande intensité et I′ la plus petite ; alors nous avons :

$$25\ I = 75\ I'.$$

Si nous représentons par 100 la plus grande intensité, nous avons :

$$25 \times 100 = 75\ I',$$
$$I' = 33,3,$$

c'est-à-dire que, si nous appelons 100 l'intensité de notre rouge, celle du bleu vert sera seulement 33,3. Dans le cas que présente ce chapitre, nous avons :

$$41\ I = 59\ I',$$
$$41 \times 100 = 59\ I',$$
$$I' = 69,5.$$

COULEURS EMPLOYÉES POUR LA SÉRIE DES DISQUES COMPLÉMENTAIRES.

Carmin préparé pour l'aquarelle ; pour le bleu vert complémentaire, un mélange de bleu de cobalt et de vert émeraude.

Vermillon préparé pour l'aquarelle ; pour son complément, les mêmes couleurs que ci-dessus, mais en d'autres proportions.

Ainsi, pour les deux premiers couples nous pouvons employer deux de nos couleurs les plus intenses et les plus saturées ; mais ceci n'est pas possible pour l'orangé et le jaune sans produire des disques d'un autre ordre que les précédents, ou sans obtenir des disques qui présenteront de plus grandes différences de luminosité que celles qui ont été tolérées dans le tableau contenu en ce chapitre. Par exemple, nous avons produit avec un mélange de minium et de jaune indien une belle couleur orangée que la plupart des peintres auraient, ce me semble, considérée comme allant bien avec le carmin et le vermillon ; ou, s'ils y avaient fait quelque objection, c'aurait été plutôt à cause de son manque d'intensité. En représentant par 100 l'intensité de cet orangé, nous trouvons pour celle de son complément — bleu de cobalt et vert émeraude — seulement 4,7, chiffre inférieur à tous ceux du tableau. Cependant ces deux couleurs ont donné un blanc semblable à celui qu'on obtient en mêlant à l'aide des disques 36 parties de blanc et 64 de noir ; et ce nombre est bien plus élevé que ceux qu'admet le tableau. Nous avons donc rejeté cette combinaison, parce qu'elle péchait sous deux rapports, et nous l'avons remplacée par un orangé assez terne. Cet orangé terne a parfaitement fait équilibre au bleu cyané son complément, et la réunion des deux couleurs a donné 27 pour 100 de lumière blanche, résultat parfaitement d'accord avec la moyenne, et qui montrait que, sous le rapport de la luminosité, ce disque orangé appartenait à notre série plus que le précédent. Le

jaune nous a donné un résultat semblable. Nous avions préparé deux beaux disques, l'un gomme-gutte et l'autre bleu de cobalt. En représentant l'intensité de la gomme-gutte par 100, celle du bleu de cobalt était 90, ce qui était presque ce qu'il fallait. Mais la combinaison des deux couleurs, opérée par rotation, a donné un blanc qui était d'environ 100 pour 100 trop brillant, ce qui prouve que les deux disques appartenaient à une série qui aurait été fournie par des couleurs deux fois aussi brillantes que celles dont je m'étais servi ; or de telles couleurs n'existent pas. Cela prouve une fois de plus que nos couleurs jaune brillant, telles que la gomme-gutte, le jaune de chrome, le jaune de cadmium, etc., ne peuvent pas être considérées comme étant réellement sur un pied d'égalité avec les autres couleurs qu'offre ordinairement la palette du peintre. Cette circonstance influe sur notre appréciation, et nous sommes surpris du manque d'éclat de l'espace jaune même dans le spectre du prisme, et de l'infériorité de la lumière jaune que produisent les mélanges de lumière rouge et de lumière verte. D'un autre côté, la possession de couleurs aussi exceptionnelles que les jaunes et les jaunes orangés brillants permet au peintre d'étendre son échelle de teintes éclatantes bien plus loin qu'il ne le pourrait sans cela.

Nous avons fait les jaunes verdâtres avec de la gomme-gutte mêlée d'un peu de bleu de Prusse, en étendant les couleurs non sur du papier à dessin, mais sur une carte un peu absorbante, qui ternissait les couleurs au degré voulu. Pour violet, nous avons pris le violet BB d'Hoffmann, parce qu'aucune des couleurs violettes qu'emploient les peintres ne pouvait servir : elles sont trop ternes et trop pauvres en lumière violette. Notre vert a été fait en mêlant un peu de jaune de chrome avec du vert émeraude ; le pourpre est le violet RRR d'Hoffmann.

CHAPITRE XII

DE L'EFFET PRODUIT SUR LES COULEURS PAR LE CHANGEMENT DE LUMINOSITÉ, ET PAR LE MÉLANGE AVEC LA LUMIÈRE BLANCHE.

Dans l'étude que nous avons faite jusqu'ici des surfaces colorées, nous avons admis tacitement que leur action sur l'œil est une action constante, et qu'une surface rouge, par exemple, paraîtra toujours rouge à un œil sain, tant qu'elle restera visible. Mais en fait ceci n'est pas complétement vrai, car les surfaces colorées changent de teinte selon qu'elles sont vues sous l'action d'une lumière très brillante ou très faible. Tous les peintres savent que le drap écarlate éclairé par un soleil brillant prend une teinte qui se rapproche de l'orangé; que le vert devient plus jaunâtre dans les mêmes circonstances; enfin, qu'en général une lumière vive fait tendre toutes les couleurs un peu vers le jaune. Helmholtz, Bezold, Rutherfurd et d'autres encore ont fait des observations semblables sur les couleurs pures du spectre du prisme, et ils ont constaté que ces couleurs *elles-mêmes* subissent des changements analogues à ceux que nous venons d'indiquer. Le violet du spectre est très facilement affecté : lorsqu'il est faible, c'est-à-dire sombre, sa teinte se rapproche du pourpre; à mesure qu'on le rend plus fort, la couleur tend vers le bleu, et enfin vers le gris blanchâtre avec une faible teinte de bleu violet. Les changements du bleu d'outremer du spectre suivent la même marche, et passent d'abord au bleu de ciel, puis au bleu blanchâtre et enfin au blanc. A mesure que le vert devient plus brillant, il passe au vert jaunâtre, puis au jaune blanchâtre; pour qu'il se convertisse réellement en blanc, il faut une lumière éblouissante. Le rouge résiste à ces changements plus que les autres couleurs; mais, si on le rend tout à fait brillant, il passe à l'orangé, puis au jaune brillant.

C'est un fait remarquable que ces changements aient lieu pour les couleurs *pures* du spectre ; mais il n'est pas difficile de les expliquer par la théorie de Young et de Helmholtz. Pour mieux nous faire comprendre, prenons par exemple la lumière verte, qui, comme nous l'avons vu, agit très énergiquement sur ce que nous avons nommé les nerfs du vert, et avec moins de puissance sur ceux du rouge et du violet. Or, tant que l'intensité de notre lumière verte est faible, son action se borne presque entièrement à sa propre série de nerfs ; mais, lorsque la lumière verte devient plus brillante, elle commence à stimuler aussi les nerfs du rouge, et, à un plus faible degré, ceux du violet ; il en résulte que la sensation de blanc commence à se mêler à celle du vert, puisque les trois séries de nerfs agissent maintenant plus ou moins. Comme dans ce cas les nerfs du violet sont moins excités, la principale modification de la couleur est alors due à l'action des nerfs du rouge, qui la font paraître plus jaunâtre ; aussi passe-t-elle d'abord au vert jaunâtre, puis au jaune verdâtre, et enfin, si la lumière est très vive, au jaune blanchâtre. De même, lorsque la lumière rouge est rendue très brillante, les nerfs du rouge et du vert sont mis en jeu, et il en résulte que la couleur change d'aspect et tire sur le jaune. Dans ce cas, les nerfs du violet jouent un rôle secondaire, et leur action fait seulement que ce jaune paraît un peu blanchâtre. Lorsque la lumière violette pure devient très brillante, les nerfs du vert commencent aussitôt à ajouter leur action à celle du violet, la teinte passe rapidement du violet au bleu d'outremer ; les nerfs du rouge ne tardent pas non plus à être stimulés, et leur action, concourant avec celle des nerfs du vert, donne la sensation du jaune ; ce jaune, se mêlant à son tour au bleu d'outremer que nous venons d'indiquer, donne pour résultante un gris blanchâtre faiblement teinté de bleu ou de bleu violet. L'explication des changements que subissent les couleurs intermédiaires du spectre est semblable à celle que nous venons de donner. Dans tous les cas, il tend à se produire du blanc jaunâtre ou du blanc, si la lumière colorée est très vive. Si elle n'a qu'un éclat moyen, la couleur paraîtra toujours plus pâle et comme mélangée d'une certaine quantité de jaune. Les artistes, en profitant de ces faits, arrivent à représenter dans leurs tableaux tous les effets de la lumière la plus vive. D'après Aubert, l'éclat du papier le plus blanc n'est que 57 fois celui du papier noir le plus sombre, et c'est dans ces limites étroites que le peintre est obligé de travailler ; de là vient pour lui la nécessité de produire des

illusions comme celle que nous venons d'indiquer. Un grand nombre des effets que présente la nature nous paraissent beaux et frappants au moins autant à cause de leur vive luminosité que par toute autre raison. Le peintre ne peut donner à sa toile l'éclat qui dans ce cas est en réalité l'élément de beauté; mais, en employant des couleurs pâles bien graduées, il produit l'effet d'un flot de lumière, et nous sommes charmés moins des teintes pâles elles-mêmes que des souvenirs qu'elles évoquent.

Nous venons d'examiner les changements remarquables que subissent les couleurs pures du spectre quand on rend leur luminosité très grande; passons maintenant à ceux qui s'opèrent lorsqu'on affaiblit beaucoup l'intensité de la lumière colorée. Von Bezold a fait, sur les couleurs du spectre, quelques observations intéressantes de ce genre. Avec un spectre prismatique très brillant, il a pu voir un jaune pur près de D et un bleu blanchâtre près de F, les autres couleurs occupant leurs positions ordinaires. Lorsque la luminosité devenait moyenne, l'espace jaune diminuait et devenait très étroit; le bleu d'outremer s'évanouissait et était remplacé par du violet. Si le spectre était encore moins lumineux, l'espace jaune orangé prenait la couleur du minium, et le jaune disparaissait, pour être remplacé par une teinte verdâtre; le bleu cyané était remplacé par du vert, le bleu et le bleu d'outremer par du violet. Parvenu à cette phase, le spectre ne présentait guère plus que les trois couleurs, rouge, vert et violet. Si l'on diminuait encore la lumière, le violet disparaissait, le rouge devenait brun rouge, et le vert n'était plus qu'une teinte vert pâle; puis le brun rouge disparaissait à son tour, et il ne restait plus qu'un vert très faible. Avec moins de lumière encore, même cette idée de couleur disparaissait aussi, et la lumière paraissait simplement grise. Ces expériences présentent des phénomènes dont la tendance est évidemment tout le contraire de ce que nous avons observé avec une lumière très brillante. A mesure que la lumière colorée gagne en éclat, elle met peu à peu en jeu toutes les trois séries de nerfs, et il en résulte du blanc ou du blanc jaunâtre; au contraire, à mesure que l'action de la lumière colorée s'affaiblit, elle se restreint de plus en plus à une seule série de nerfs. De là il résulte que les sensations de couleur qui sont dues à l'action simultanée de deux séries de nerfs diminuent rapidement lorsque la couleur s'assombrit, et sont remplacées par les sensations simples, rouge, vert ou violet. La sensation de l'orangé est produite par les ondes lumineuses du spectre auxquelles

leur longueur permet de stimuler les nerfs du rouge avec énergie et ceux du vert à un moindre degré; par suite, lorsque de la lumière orangée est rendue très faible, elle n'exerce plus d'action sur les nerfs du vert, tout en stimulant encore faiblement ceux du rouge, et par conséquent la sensation de l'orangé se transforme en sensation de rouge. Pour des raisons semblables, les sensations du jaune et du jaune verdâtre passent au vert, ainsi que celles du bleu verdâtre et du bleu cyané; de même, les sensations de bleu, de bleu d'outremer et de bleu violet passent au violet. Il est bien évident que ces changements fournissent un nouvel argument en faveur de la théorie des couleurs de Young, et qu'ils tendent aussi à confirmer le choix du rouge, du vert et du violet comme sensations de couleurs fondamentales.

Dans l'expérience de Von Bezold que nous venons de rapporter, après que le spectre a été suffisamment assombri, il ne reste plus que trois couleurs, le rouge, le vert et le violet; mais ce rouge sombre, sous le rapport de la sensation, a un peu changé de caractère, et, d'après les expériences encore inédites de Charles Pierce, il est devenu un peu pourpré; de même, le vert est plus bleuâtre; le violet seul n'a pas changé. Or on peut obtenir juste les mêmes effets en mélangeant avec le rouge ou le vert de faibles quantités de violet; donc l'effet définitif de l'obscurcissement sur toutes les couleurs du spectre est d'y ajouter virtuellement des quantités de plus en plus grandes de lumière violette. D'après la théorie de Young et de Helmholtz, la cause de ces changements particuliers consiste en ce que les nerfs du violet agissent plus énergiquement, par rapport aux nerfs du rouge et du vert, lorsque la lumière est faible. Par exemple, si nous présentons à l'œil de la lumière verte pure, elle stimulera vivement les nerfs du vert, beaucoup moins ceux du rouge et du violet : nous obtenons ainsi une certaine sensation à laquelle nous donnons le nom de vert. Si maintenant nous diminuons beaucoup l'intensité de la lumière verte, il est évident qu'elle agira moins sur les nerfs du vert; mais, de plus, elle agit maintenant moins sur les nerfs du rouge que sur ceux du violet, de sorte que nous avons virtuellement un mélange de vert et de violet qui donne au vert un aspect bleuâtre. La même explication s'applique au rouge, parce que la lumière rouge terne agit moins sur les nerfs du vert que sur ceux du violet.

Le changement que subit une couleur quand on l'assombrit est intéressant au point de vue de la pratique; aussi avons-nous fait une

série d'expériences sur ce sujet, en nous servant pour cela de disques colorés animés d'un mouvement de rotation. Dans ces expériences, nous n'avons plus affaire aux couleurs pures du spectre, mais bien à des surfaces recouvertes de matières colorantes brillantes, mieux en rapport avec les cas qui se présentent aux peintres et aux décorateurs. Dans chacun des cas étudiés, nous combinons un disque noir avec un disque coloré, comme l'indique la figure 75; un plus petit disque de la même couleur, destiné à servir de terme de comparaison, est ou fixé sur le même axe, ou de temps en temps rapproché du disque en mouvement. Des expériences préalables nous ont permis de recon-



Fig. 75. — Disque jaune de chrome et disque noir combinés.



Fig. 76. — Le disque de la figure 75 devient vert olive en tournant.

naître que le disque noir ne réfléchit qu'une faible quantité de lumière blanche; si nous représentons par 100 la quantité de lumière réfléchie par une carte blanche, alors le disque noir dont nous nous servons pour nos expériences ne réfléchit que 2 pour 100 ou 1/50 de lumière blanche. Dans chaque cas, la couleur des disques peints a été rendue aussi intense, aussi saturée et aussi brillante que possible. Nous résumons dans le tableau suivant les résultats que nous donne la rotation, c'est-à-dire la diminution de la luminosité des couleurs par un mélange de noir :

TABLEAU I.

Nom de la couleur.	Effet de la diminution de lumière.
Rouge fondamental (carmin et vermillon).................	Pas de changement, ou teinte *légèrement* pourprée.
Vermillon.....................	Plus rouge, moins rouge orangé.
Minium.......................	Plus rouge, moins rouge orangé.
Orangé.......................	Brun.
Jaune de chrome ou gomme-gutte.......................	Vert olive.

Nom de la couleur.	Effet de la diminution de lumière.
Jaune verdâtre	Plus verdâtre.
Vert jaunâtre	Vert plus pur.
Vert fondamental	Pas de changement, ou *légèrement* plus bleuâtre.
Vert émeraude	Plus vert, moins vert bleu.
Vert bleu	Plus vert, moins bleuâtre.
Bleu cyané	Plus verdâtre.
Bleu de Prusse	Bleu gris foncé (pas de changement).
Bleu de cobalt	Bleu gris foncé (pas de changement).
Bleu d'outremer (artificiel)	Plus violet, moins bleu.
Violet	Violet foncé.
Pourpre	Plus violet, moins rouge
Carmin	Très peu changé.

On remarquera que ces résultats s'accordent assez exactement avec ceux de Von Bezold, que nous avons déjà indiqués.

Quelques-uns des changements dans les expériences que nous venons d'indiquer sont assez grands pour exciter l'étonnement, et celui qui en serait témoin pourrait être tenté de croire que le disque noir exerce une influence particulière sur le résultat; mais il n'en est rien, car on peut obtenir les mêmes résultats sans disque noir, pourvu qu'on réduise la luminosité des disques colorés en mettant devant l'œil deux prismes de Nicol, que l'on fait tourner de manière à intercepter peu à peu la lumière colorée. D'un autre côté, si les teintes que l'on obtient à l'aide du disque noir donnent le véritable aspect de surfaces revêtues d'une couche de couleur pure, mais peu éclairée, alors les copies exactes de ces teintes doivent, lorsqu'on les éclaire énergiquement, présenter de nouveau des couleurs brillantes et les teintes primitives. Nous avons pu vérifier cette hypothèse, sur la gomme-gutte par exemple, que le changement de couleur produit par l'assombrissement fait passer du jaune légèrement orangé à un beau vert olive. Nous avons soigneusement recopié à l'aquarelle sur une bande de papier cette couleur vert olive, et nous l'avons ensuite exposée aux rayons éclatants du soleil; aussitôt elle a paru jaune, et a pris l'aspect du disque gomme-gutte placé tout auprès, mais dans l'ombre.

La conclusion générale à tirer de ces expériences, c'est qu'une lumière faible rend les couleurs faibles aussi, et les fait toutes tendre vers un bleu un peu sombre; au contraire, lorsque les couleurs deviennent très brillantes, elles tendent vers un jaune blanchâtre. La

meilleure manière d'étudier cette teinte moyenne, c'est d'observer des effets de lune : sous l'influence de cette lumière, la couleur la plus lumineuse paraît être un bleu un peu verdâtre, et la plus sombre présente plutôt la teinte du bleu d'outremer. Sur ce point délicat, les meilleures autorités que nous puissions consulter sont les peintres qui ont l'habitude de représenter des paysages éclairés par la lune, et les plus habiles d'entre eux s'accordent tous sur la prédominance des différentes teintes de bleu, de bleu verdâtre et de bleu violet. Des effets semblables, bien que moins marqués, peuvent s'observer par les journées ternes où le ciel est couvert de nuages, et pendant lesquelles la teinte dominante est un gris bleuâtre. En effet, comme le fait remarquer Helmholtz, il suffit de regarder à travers un verre bleu pâle un paysage ensoleillé pour penser aussitôt à un temps couvert; au contraire, si par un jour de nuages nous regardons le paysage à travers un verre jaune pâle, nous aurons l'impression d'un beau soleil. Dans le même ordre d'idées, des rayures accidentelles d'ocre jaune ou de sciure de bois sur un trottoir à l'ombre nous donnent souvent l'idée d'un rayon de soleil égaré, et il ne serait pas très difficile de multiplier les exemples de ce genre d'illusion. Si nous mélangeons directement du noir de fumée avec d'autres couleurs sur une palette, ces couleurs seront nécessairement rendues plus sombres. Mais les effets ainsi obtenus ne sont pas identiques à ceux que donne la méthode de rotation. Nous avons peint une feuille de papier d'une teinte foncée composée de carmin et de noir de fumée, qui lui a donné une couleur rouge sombre et pourprée. Nous avons découpé un disque dans ce papier, puis nous avons essayé de reproduire cette teinte en mélangeant ensemble par voie de rotation du carmin et du noir de fumée. Pour y arriver, nous avons été forcé d'introduire une assez grande quantité de blanc dans le mélange par rotation ; le meilleur résultat a été celui que nous a donné un disque composé tel que l'indique la figure 77. Cela prouve que la saturation ou l'intensité d'une matière colorante se trouve beaucoup diminuée quand nous la mélangeons sur la palette avec du noir de fumée, et c'est là une des raisons pour lesquelles les peintres ne veulent pas adopter cette manière de produire des teintes foncées. Le mélange mécanique de noir de fumée avec des matières colorantes non seulement diminue leur saturation, mais encore modifie quelque peu leur teinte. Dans l'expérience que nous venons de raconter, après avoir appareillé les deux couleurs aussi bien que possible, nous avons constaté que le

carmin qui avait été mêlé avec du noir de fumée sur la palette était plus violet que celui qui avait été mêlé avec le noir par la méthode optique. Le vermillon mélangé mécaniquement et optiquement avec du noir de fumée nous a donné des résultats analogues. Dans le premier cas, la couleur offrait un aspect plus rouge orangé que dans le second. Le bleu de Prusse et le noir de fumée mélangés sur la palette donnent une teinte beaucoup plus verdâtre que lorsqu'ils

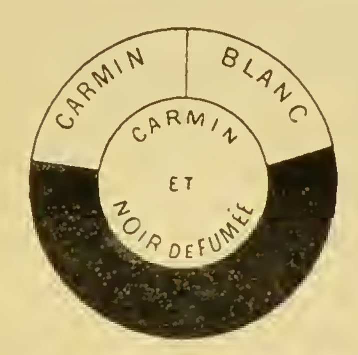


Fig. 77. — Petit disque central composé d'une carte lavée d'un mélange de carmin et de noir de fumée. On obtient presque la même teinte en combinant trois disques. l'un carmin, l'autre noir et l'autre blanc, dans les proportions indiquées.

sont mélangés par rotation, et plusieurs autres couleurs présentent des changements semblables.

Nous avons vu jusqu'ici qu'en changeant la luminosité d'une surface colorée nous en modifions en même temps la nuance, et que toutes les surfaces colorées, lorsqu'elles deviennent très brillantes, tendent à prendre une teinte jaune blanchâtre. Mais les changements de luminosité produisent encore d'autres effets, qui sont fort remarquables. Si nous arrangeons à la lumière du jour des feuilles de papier rouge et de papier bleu qui aient, autant que nous en pouvons juger, le même degré de luminosité, et qu'ensuite nous les portions dans une chambre rendue obscure, nous serons surpris de voir les papiers bleus paraître plus brillants que les rouges. Il est possible en réalité de rendre la chambre assez obscure pour que le papier rouge paraisse noir, tandis que le bleu conservera encore nettement sa couleur. Purkinje et Dove sont, je crois, les premiers qui aient signalé ce fait. Par des expériences semblables on peut prouver que les surfaces rouges, jaunes et orangées sont relativement plus lumineuses, sous l'influence d'une lumière vive, que les surfaces bleues ou violettes; celles-ci, au contraire, ont l'avantage quand elles sont faiblement éclairées. Il y a longtemps déjà, Dove a remarqué que cette circons-

tance détruit un peu l'équilibre des couleurs dans les tableaux, quand on s'attarde dans une galerie au moment où le jour baisse. De là il suit qu'on doit un peu modifier la composition chromatique d'un tableau, suivant qu'il est destiné à être vu le plus généralement au grand jour ou dans une pièce un peu obscure. Il est probable que les peintres se préoccuperaient davantage de cette question, s'ils n'étaient pas forcés de lutter contre un obstacle encore plus sérieux dans le changement considérable qu'apporte aux teintes de leurs tableaux le passage de la lumière naturelle à celle du gaz.

De ce que nous venons de dire il résulte que les comparaisons photométriques de l'éclat de surfaces de couleurs différentes ne donnent pas les mêmes résultats avec une lumière affaiblie comme celle du crépuscule qu'avec un jour brillant, de sorte qu'il est impossible d'établir, avec un degré de lumière donné, des rapports photométriques qui soient vrais pour tous les autres degrés. Nous pouvons trouver, par exemple, à la lumière naturelle, qu'un certain morceau de papier bleu est juste à moitié aussi lumineux qu'un morceau de papier rouge ; mais il n'est pas du tout sûr que le même rapport existera dans une chambre rendue obscure. Helmholtz a reconnu que les couleurs pures du spectre sont elles-mêmes sujettes à de tels changements, surtout le jaune et le bleu d'outremer, ou le jaune verdâtre et le violet ; pour les autres couleurs, les changements sont moins marqués. Ce fait nous a donné l'idée d'une expérience intéressante : le jaune et le bleu d'outremer sont complémentaires, c'est-à-dire donnent ensemble de la lumière blanche ; mélangeons donc du jaune et du bleu d'outremer de façon à obtenir du blanc, sous l'influence d'une lumière très vive ; si nous les obscurcissons tous les deux également, donneront-ils encore du blanc? Il serait assez naturel de supposer que le bleu ne pourra plus faire équilibre au jaune, et qu'au lieu de blanc nous aurons un blanc bleuâtre. Mais Helmholtz. opérant sur les couleurs pures du spectre, a constaté qu'il n'en est rien : le mélange obscurci de jaune et de bleu ressemble toujours exactement à de la lumière solaire un peu obscurcie. Un autre couple de couleurs complémentaires, le jaune verdâtre et le violet, par exemple, donne le même résultat. Ces faits semblent en contradiction avec la règle qui veut que le jaune ou le jaune verdâtre, lorsqu'il est brillant, affecte l'œil avec plus d'énergie que le bleu ou le violet. Voici comment Helmholtz l'explique : notre type de blanc vif est la lumière vive du soleil ; quand notre mélange de jaune et de bleu égale cette

lumière, nous disons que c'est du blanc ; nous obscurcissons alors d'une façon notable notre lumière solaire, et nous en faisons le type d'un blanc faible et peu lumineux ; nous lui donnons le nom de blanc obscurci ou de gris pur, et nous trouvons que notre mélange obscurci de bleu et de jaune reproduit encore parfaitement ce gris. Mais, selon Helmholtz, ce gris pur est en réalité un peu bleuâtre, et c'est à cause de cela qu'il peut encore s'appareiller avec le mélange de bleu et de jaune obscurcis, lesquels sont aussi réellement bleuâtres. Quant à nous, nous avons toujours trouvé le gris pur un peu bleuâtre par rapport au blanc pur, et l'expérience suivante semble prouver qu'il en est réellement ainsi : produisons un gris pur à l'aide d'un disque tournant, en mélangeant cinquante parties de blanc avec même quantité de noir ; si nous mettons ce disque composé sur le même axe qu'un



Fig. 78. — Petit disque blanc et noir, arrangé de manière à donner du gris par rotation. Ce gris semble plus bleuâtre que le plus grand disque blanc : on mêle alors à celui-ci 17 pour cent d'un disque indigo.

disque blanc, lorsque l'appareil entrera en rotation, la partie grise semblera légèrement plus bleuâtre que la partie blanche. Pour que le disque blanc prenne la teinte — je ne dis pas la luminosité — du disque gris, il faut combiner avec le premier un disque peint en indigo assez foncé, et disposé comme l'indique la figure 78. Lorsque nous avons fait cette expérience, un aide disposait les disques et mesurait les quantités, tandis que nous disions simplement d'augmenter ou de diminuer la proportion du bleu, jusqu'à ce que le résultat nous parût satisfaisant ; ce n'est qu'à la fin de l'expérience que nous avons connu les résultats numériques. Voici les quantités pour cent de bleu ajoutées dans neuf expériences consécutives : 17, 20, 18, 16, 13, 14, 21, 19, 16 ; moyenne, 17. Ainsi, d'après ces expériences, il a fallu ajouter au blanc 17 pour 100 d'une forte teinte d'indigo pour obtenir une teinte pareille à celle d'un disque

gris composé de parties égales de blanc et de noir. Remarquons à ce sujet que l'addition du bleu au blanc, tout en en modifiant légèrement la nuance, n'a pas produit d'effet bien appréciable sur sa luminosité ; je veux dire que le blanc s'est seulement trouvé un peu obscurci.

Tous ces phénomènes peuvent s'expliquer par la théorie de Young modifiée par Helmholtz. D'après cette théorie, la sensation du blanc se produit lorsque les groupes nerveux de la rétine qui correspondent au rouge, au vert et au violet, sont stimulés avec à peu près la même énergie ; de plus, pour un faible degré de stimulation des trois groupes de nerfs, l'activité du groupe violet l'emporte sur celle du vert, laquelle l'emporte à son tour sur celle du rouge. Lorsque la stimulation devient énergique, ces conditions se trouvent renversées,

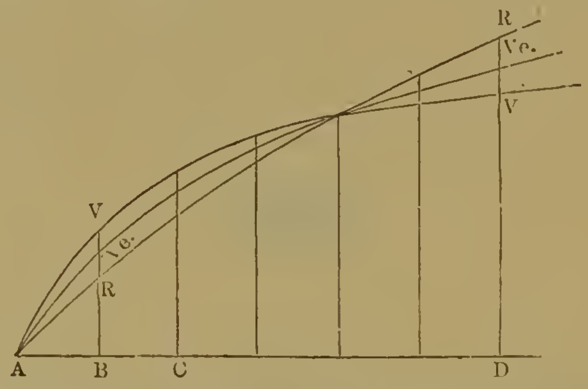


Fig. 79. — Courbes représentant l'action des nerfs du rouge, du vert et du violet, selon qu'ils sont stimulés par une lumière blanche plus ou moins vive.

les nerfs du rouge prennent le dessus, et ceux du vert et du violet ne jouent plus qu'un rôle secondaire. Ces divers changements de l'action des nerfs sont représentés par les trois courbes de la figure 79. La ligne horizontale représente l'accroissement réel de l'intensité de la lumière blanche : par exemple, la longueur AB représente une lumière blanche faible, AC une lumière blanche d'intensité double, etc. La ligne verticale BR est la mesure de l'intensité de la sensation du rouge produite par cette lumière blanche faible ; BVe et BV donnent la force de la sensation pour les nerfs du vert et pour ceux du violet. Nous voyons que la sensation du violet, étant représentée par la ligne la plus longue, l'emporte sur les autres, et que la lumière, au lieu de paraître blanche, offrira le résultat que produirait le mélange en proportions égales des sensations de rouge, de vert et de violet, c'est-à-dire le mélange de la

sensation du blanc avec un peu de vert et un peu plus de violet. Or, comme nous l'avons déjà vu au chapitre IX, le mélange des sensations de vert et de violet donne celle de bleu, de sorte qu'en définitive nous avons un mélange de la sensation du blanc pur avec celle du bleu, c'est-à-dire un blanc bleuâtre. Si nous examinons de même la ligne DVVeR, nous y trouverons l'inverse des conditions que nous venons de décrire : elle représente la sensation de blanc pur mêlé à un léger excès de vert et à un peu plus de rouge ; comme le mélange du vert et du rouge donne du jaune, le résultat définitif dans ce cas sera du blanc mêlé de jaune, c'est-à-dire un blanc jaunâtre. La même figure représente aussi d'une manière symbolique le fait de la plus grande luminosité des surfaces rouges sous l'action d'une lumière brillante, et des surfaces violettes sous l'action d'une lumière faible. Elle peut servir encore à expliquer les changements que subit une couleur pure quand on la rend très brillante ou très pâle, d'après la méthode indiquée au commencement de ce chapitre.

Nous avons examiné jusqu'ici avec assez de détails les changements relatifs de luminosité que subissent les surfaces colorées selon qu'on les expose à une lumière vive ou à une lumière faible; mais, avant de quitter cette partie de notre sujet, il n'est pas hors de propos de faire remarquer que toutes les comparaisons entre les luminosités de surfaces de couleurs différentes sont sans valeur en tant qu'expressions de faits objectifs. Un exemple nous fera mieux comprendre. Supposons qu'en comparant avec les yeux deux surfaces blanches ou deux surfaces rouges nous les trouvions également lumineuses ; ce ne sera pas seulement un fait pour ce qui regarde l'œil, ce sera encore un fait réellement objectif, fait également vrai dans un sens mécanique, de sorte que, si nous transformons en chaleur nos deux faisceaux de lumière blanche ou de lumière rouge, nous obtiendrons des quantités de chaleur égales. Mais si nous prenons deux surfaces de couleurs différentes, l'une rouge et l'autre bleue, par exemple, en les rendant également lumineuses, également puissantes au point de vue de leur action sur l'œil, et qu'ensuite nous transformions en chaleur la lumière qu'elles réfléchissent, un appareil thermométrique délicat nous indiquera promptement que dans les deux cas les forces ne sont pas égales. En effet, Melloni a constaté que le maximum d'effet calorifique est produit par les rayons ultra-rouges, qui sont tout à fait invisibles à l'œil; au point de vue

objectif, c'est là que se trouve la plus grande force, mais avec des ondes trop longues pour produire aucun effet sur l'œil. De là il suit évidemment que l'intensité de nos sensations visuelles dépend à la fois de la force (hauteur ou amplitude) des ondes lumineuses et de leur longueur ; les effets les plus énergiques sont produits par la lumière jaune, qui affecte à la fois les nerfs du rouge et ceux du vert. Mais, bien que les comparaisons photométriques entre les surfaces de couleurs différentes n'aient aucune valeur objective, cependant elles peuvent être souvent très précieuses, ou même réellement indispensables dans nos recherches, si nous voulons leur donner un caractère quantitatif.

Après avoir ainsi considéré les changements que subit une couleur que l'on rend très lumineuse ou très faible, nous allons étudier les effets que l'on obtient en y mêlant du blanc. Le résultat général peut

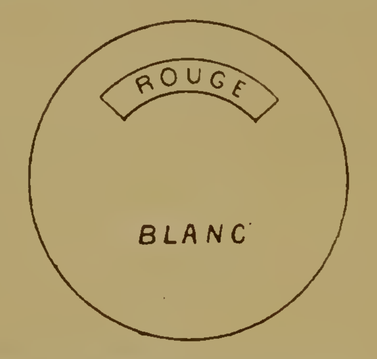


Fig. 80. — Disque blanc dont une petite partie est peinte en rouge.

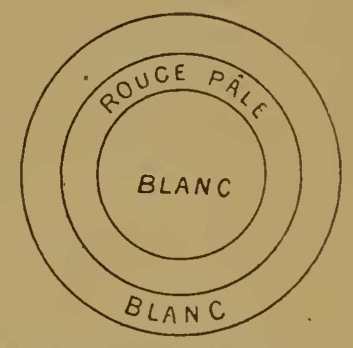


Fig. 81. — Aspect du disque précédent lorsqu'il tourne rapidement.

s'exprimer en très peu de mots : la couleur pâlit, et disparaît même entièrement en ne laissant plus distinguer qu'une surface blanche lorsque la proportion de blanc est considérable. Lorsqu'on fait tourner un disque peint comme l'indique la figure 80, le rouge donne par son mélange avec le blanc un anneau rouge pâle, comme celui que représente la figure 81. Si nous diminuons la quantité de rouge, l'anneau coloré devient très blanchâtre ; enfin, Aubert a constaté que le rouge mêlé à une quantité de blanc qui varie entre 120 et 180 parties, disparaît entièrement. Si nous admettons que la luminosité du vermillon est le quart de celle du papier blanc, il résulte de l'expérience d'Aubert que le mélange du vermillon avec 720 parties de lumière blanche d'une luminosité égale à la sienne, fait disparaître la couleur rouge. Nous pouvons encore exprimer ce fait de la manière suivante : prenons de la lumière rouge et de la lumière blanche d'égale intensité ;

alors ; si nous présentons à l'œil une partie de lumière rouge en même temps que 720 parties de lumière blanche, l'œil sera impuissant à reconnaître la présence de l'élément rouge. De moindres quantités de lumière blanche produisent de très grands changements dans l'aspect de la couleur. Si nous faisons tourner un disque comme celui que représente la figure 79, nous serons surpris de trouver que, même avec un quart du disque couvert de vermillon, la teinte rouge résultante est cependant tout à fait pâle. Dans ce cas, douze parties de lumière blanche sont mélangées avec une partie de lumière rouge du même éclat, et le résultat semble plus naturel lorsqu'on l'énonce de cette façon.

Lorsque nous étudions avec plus de soin les mélanges de lumière blanche et de lumière colorée, nous y remarquons certaines anomalies curieuses. Si nous disposons comme l'indique la figure 82 des

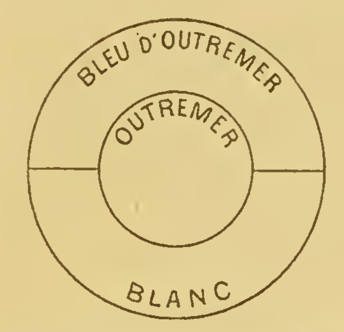


Fig. 82. — Disque de carte blanche dont une partie a reçu une teinte de bleu d'outremer artificiel.

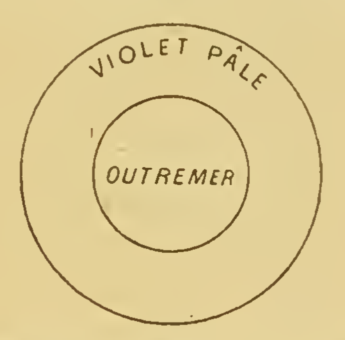


Fig. 83. — Aspect que présente le mélange de la lumière blanche avec la lumière bleu d'outremer.

disques de bleu d'outremer artificiel et de blanc, et que nous les fassions tourner rapidement, nous verrons que l'addition du blanc. au lieu de rendre seulement le bleu plus pâle, le change en violet pâle (fig. 83). Si nous remplaçons le bleu d'outremer par de l'orangé, la teinte orangé pâle que donne la rotation tire un peu sur le rouge. Ces deux faits sont connus depuis longtemps, et on a cherché à les expliquer de plusieurs manières différentes. D'après Brücke, la lumière blanche naturelle a elle-même une teinte légèrement rougeâtre, et, lorsque nous mêlons de la lumière blanche à une lumière colorée, nous y ajoutons réellement en même temps un peu de rouge ; de là les changements que nous venons d'indiquer. De son côté, Aubert, adoptant une idée de Helmholtz, suppose que la teinte pâle du bleu d'outremer est en réalité violette, mais que notre appréciation est faussée par l'habitude de voir la couleur du ciel, qui est, selon lui, d'un

bleu verdâtre, et qui conserve cette teinte quand elle est mélangée de blanc. C'est là une explication que des peintres auraient peine à admettre, et les expériences que nous allons exposer prouvent qu'elle est aussi insuffisante que celle qui la précède. Nous avons étudié cette question d'une manière générale, et nous avons reconnu que les changements de ce genre ne sont pas particuliers à l'orangé et au bleu d'outremer artificiel, mais s'étendent à toutes les couleurs, excepté le violet et son complément le jaune verdâtre ; nous donnons dans le tableau suivant les principaux résultats de nos expériences :

TABLEAU II

EFFETS QUE PRODUIT LE MÉLANGE DE LA LUMIÈRE BLANCHE AVEC UNE LUMIÈRE COLORÉE.

Nom de la couleur.	Effet produit.
Vermillon	Plus pourpré.
Orangé	Plus rouge.
Jaune de chrome	Jaune plus orangé.
Jaune pur	Jaune plus orangé.
Jaune verdâtre	Plus pâle (même teinte).
Vert	Vert plus bleu.
Vert émeraude	Vert plus bleu.
Bleu cyané	Plus bleuâtre.
Bleu de cobalt	Un peu plus violet.
Outremer (artificiel)	Plus violet.
Violet	Sans changement.
Pourpre	Moins rouge, plus violet.

De ces expériences il résulte que, si nous mêlons de la lumière blanche avec une lumière colorée, l'effet produit est le même que si nous mêlions en même temps un peu de lumière violette à notre lumière blanche. Un tel mélange expliquerait tous les changements indiqués dans le tableau qui précède, comme on le verrait en consultant le diagramme des couleurs qui sera expliqué dans le chapitre suivant. Bien entendu, ceci revient à énoncer les faits en d'autres termes, et n'est pas du tout une explication.

Dans les expériences que nous venons d'indiquer, la lumière de disques de *couleurs brillantes* a été mélangée par voie de rotation avec de 5 à 50 pour 100 de lumière blanche, car quelques-uns des disques exigeaient plus de lumière blanche que d'autres pour produire les changements de teinte indiqués au tableau. Mais si nous commençons par assombrir beaucoup nos couleurs, et qu'ensuite nous y ajoutions un peu de blanc, les résultats seront encore un peu diffé-

rents de ceux qu'indique le tableau, parce qu'ici deux causes qui produisent quelquefois des résultats contraires se trouvent en présence, comme nous le verrons en comparant les tableaux I et II. Dans les expériences qui suivent, pour toutes les couleurs, sauf le jaune de chrome, 5 parties du disque coloré ont été combinées avec 90 parties de noir *pur* et 5 parties de blanc; 10 parties de jaune de chrome ont été combinées avec 85 parties de noir pur et 5 de blanc. Voici les changements de teinte ainsi obtenus :

TABLEAU III

Effets que produit le mélange d'une petite quantité de lumière blanche avec une couleur préalablement très assombrie *(expériences faites avec les disques tournants).*

Le vermillon,	devient......	Pourpre grisâtre terne.
L'orangé,	»	Brun légèrement bleuâtre.
Le jaune de chrome,	»	Vert olive grisâtre.
Le vert émeraude,	»	Vert foncé moins bleuâtre.
Le bleu cyané,	»	Gris verdâtre foncé.
Le bleu de Prusse,	»	Bleu gris foncé.
Le bleu de cobalt,	»	Bleu gris foncé.
L'outremer artificiel,	»	Bleu violet gris foncé.
Le violet,	»	Violet gris foncé.
Le pourpre,	»	Violet gris foncé (moins rouge).

Un assez grand nombre de ces expériences donnent des résultats du même caractère que ceux du tableau II. Cependant cela n'est pas exact pour le jaune de chrome, qui dans le premier cas paraissait plus orangé, tandis que dans le second il est devenu vert olive blanchâtre. Il est évident que dans cette circonstance l'assombrissement de la couleur a fait plus que contrebalancer l'effet du blanc qu'on y a ajouté. Le vert émeraude et le bleu cyané semblent donner un résultat semblable, bien que les phénomènes soient moins marqués. Ainsi l'effet général qu'on obtient en réduisant d'abord d'une manière considérable la luminosité de la couleur, puis en y ajoutant de petites quantités de blanc, est la production de gris tirant sur le bleu ou le violet, ce qui arrive même lorsque la couleur primitive est aussi marquée que le vermillon. Les expériences que résument les deux derniers tableaux montrent comment il se fait qu'il soit presque impossible de produire un beau rouge à l'aide de la lumière polarisée. la teinte étant toujours un peu rosée, c'est-à-dire tendant vers une nuance pourprée.

Nous avons déjà fait voir dans les pages qui précèdent que le mélange de la lumière blanche avec une lumière colorée a pour effet de pâlir la couleur et en même temps de la modifier légèrement, comme si nous avions aussi ajouté au mélange une petite quantité de lumière violette. Ce fait nous suggère naturellement l'expérience suivante : Commençons par combiner un disque pourpre et un disque vert en proportions égales, comme l'indique la figure 84, ce qui nous donnera un gris pur. Remplaçons maintenant par du blanc dix parties de pourpre et aussi dix parties de vert (fig. 85) ; aurons-nous encore un gris pur, ou le gris obtenu sera-t-il teinté de violet ? Nous avons fait avec soin plusieurs expériences de ce genre, et chaque fois nous avons

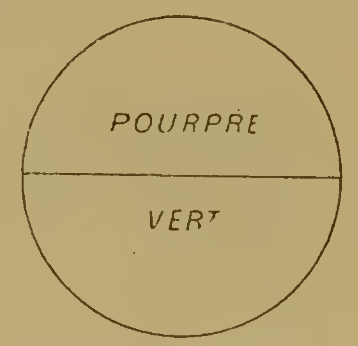


Fig. 84. — Disque pourpre et vert : sa rotation donne un gris pur.

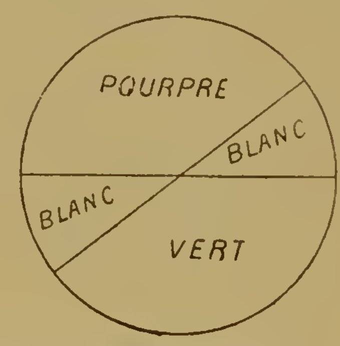


Fig. 85. — Disque pourpre, vert et blanc ; sa rotation donne un gris pur.

obtenu un gris identique à celui que donne le mélange par rotation du blanc et du noir. Il est peut-être possible d'expliquer ce fait en disant que le vert et le pourpre se combinent immédiatement pour produire la sensation de gris, et qu'alors l'addition de blanc à ce gris ne peut que le rendre plus pâle, mais ne saurait en aucune façon en altérer la teinte. D'après cela, il semblerait que, lorsqu'on altère une couleur comme nous venons de l'indiquer en y ajoutant du blanc, le *temps* intervient comme élément nécessaire dans l'action ; il faut que le mélange de blanc et de lumière colorée agisse seul sur l'œil pendant un temps qui ne soit pas trop court, sans quoi ces faits particuliers ne se produiraient pas.

On pourrait supposer qu'en peignant un papier blanc de teintes faibles des différentes couleurs on doit obtenir les mêmes résultats qu'en mélangeant du blanc avec les mêmes couleurs par la méthode des disques tournants. Mais le plus souvent il y a quelque différence

entre les teintes que donnent ces deux méthodes. Nous avons, par exemple, laissé sécher sur du papier blanc une teinte faible de carmin, puis nous avons cherché à la reproduire en combinant par voie de rotation un disque carmin foncé avec un autre de carte blanche. Nous avons bientôt reconnu que la teinte d'aquarelle était bien plus saturée ou plus intense qu'une teinte de même luminosité produite par les disques tournants ; la première était aussi plus pourprée qué la seconde. Quand nous rendions les deux teintes également lumineuses, l'aquarelle était bien plus vive que le simple mélange de lumière rouge et de lumière blanche. Soumise à la même épreuve, une teinte faible de vermillon était plus orangée qu'un mélange de lumière vermillon et de lumière blanche ; une teinte faible de gomme-gutte paraissait jaune, tandis que le mélange par rotation était plutôt jaune orangé. La raison de ces changements est évidente, et résulte de ce fait bien connu que les couches minces de substances colorées exercent en général sur la lumière blanche une action absorbante autre que les couches épaisses des mêmes substances. Ainsi une couche mince de vermillon laisse passer plus de rayons orangés ; aussi les peintres se servent-ils quelquefois de couches très minces de cette couleur pour représenter les teintes très pâles d'orangé ou même de jaune orangé. L'autre fait que nous avons signalé plus haut, celui de la plus grande saturation relative des couches minces que des couches épaisses, s'explique d'une manière différente. Nous avons vu au chapitre X que, lorsqu'à une couleur donnée on en mêle une autre, non seulement on change la teinte de la première, mais encore on produit le même effet que si l'on y ajoutait en même temps du noir. Or on produit un changement analogue si à une couleur donnée on ajoute une plus grande quantité de la même couleur pour la rendre plus foncée : la teinte plus foncée de la couleur pure agit comme si l'on y avait mêlé du noir. Dans l'expérience sur la teinte faible de carmin que nous venons d'exposer, il a fallu combiner réellement par rotation une certaine quantité de noir avec la teinte d'aquarelle pour la rendre moins vive, avant de pouvoir l'appareiller avec un disque composé de blanc et d'une teinte foncée de carmin.

Le fait en question sera peut-être mieux compris si nous l'énonçons différemment. On sait que le carmin absorbe énergiquement presque tous les rayons lumineux colorés, sauf les rayons rouges ; quant à ceux-ci, il les réfléchit en quantité considérable, et c'est à cette circonstance qu'est due sa couleur rouge. Mais les expériences

que nous venons de décrire indiquent que le carmin absorbe aussi une proportion assez grande des rayons rouges eux-mêmes, de sorte qu'une teinte foncée de carmin renvoie à l'œil moins de lumière rouge qu'on ne pourrait s'y attendre. Nous avons constaté que le verre jaune présente un phénomène analogue. Le verre jaune transmet en abondance les rayons jaune orangé, jaunes et jaune verdâtre, et doit sa couleur jaune surtout à cette propriété. Mais ces rayons eux-mêmes, il est loin de les transmettre avec autant de perfection que le verre à vitres ordinaire. Dans une expérience, nous avons constaté qu'une plaque de verre jaune absorbait environ 25 pour 100 de ces rayons mêmes. Il est probable que la plupart des substances colorées exercent une action semblable.

CHAPITRE XIII

DE LA DURÉE DE L'IMPRESSION SUR LA RÉTINE

De toutes les pièces en usage dans les feux d'artifice, il n'en est peut-être pas qui excitent plus d'admiration que celles auxquelles on donne le nom de soleils, avec leurs couleurs brillantes — rubis, émeraude ou saphir — et leurs surfaces, dont les nuances doucement fondues font souvent penser à la rose, à l'œillet et à d'autres fleurs. Il n'est pas difficile de disposer les choses de manière à ne voir qu'un instant un de ces objets brillants, sans gêner le moins du monde son mouvement rapide ; et, quand on le fait, on reconnaît qu'une grande partie de sa beauté dépend d'une illusion : sa large surface de couleurs variées disparaît, et nous ne voyons plus que quelques jets de feu coloré qui n'ont rien de bien remarquable en eux-mêmes. Ainsi l'apparence de ces objets brillants dépend d'une illusion, et cette illusion repose sur le fait que la sensation visuelle persiste toujours après que la lumière qui l'a produite a cessé d'agir sur l'œil.

L'exemple le plus familier de ce fait nous est présenté par une vieille expérience qui a sans doute donné naissance aux pièces d'artifice connues sous le nom de soleils : si l'on fixe au bout d'un bâton un charbon allumé, et qu'on le fasse tourner rapidement dans l'obscurité, il décrira un anneau de feu qui semblera parfaitement continu. En effet, la lumière du charbon en mouvement vient frapper la rétine de l'œil, et son image se produit au point 1, par exemple (fig. 86) ; un instant après, le charbon occupant une nouvelle position, l'image se trouve au point 2, puis au point 3, et ainsi de suite sur toute la circonférence. Or, si la sensation due à la première image persiste tout le temps qu'il faut pour parcourir le cercle entier, alors elle se renouvellera avant d'avoir pu disparaitre, et par conséquent sera présente d'une manière continue ; nous pourrions dire la même

chose de tous les autres points du cercle, de sorte que le spectateur croira voir un cercle lumineux continu. Pour produire cet état de choses, il faut nécessairement que le charbon ardent se meuve avec une certaine vitesse ; d'après les observations de d'Arcy, il est indis-



Fig 86. — Positions successives d'un charbon ardent que l'on fait tourner rapidement.

pensable que la circonférence soit complètement décrite en treize centièmes de seconde.

Les expériences sur cette question sont très faciles à faire avec les disques tournants. Si nous prenons un disque circulaire peint en noir



Fig. 87. — Disque à portion de secteur blanche.



Fig. 88. — Aspect du disque précédent lorsqu'il tourne avec vitesse.

et portant un point blanc comme celui que représente la figure 87, et que nous le fassions tourner, dès que le mouvement sera assez rapide, nous verrons un anneau blanc, tout comme dans le cas qui précède nous obtenions un anneau de feu. La figure 88 représente l'aspect du

disque lorsqu'il tourne rapidement. La durée de la sensation lumineuse. ou, comme on dit ordinairement, la durée de l'impression sur la rétine, varie avec l'intensité de la lumière qui la produit, et, avec un papier blanc, elle est loin d'être aussi grande qu'avec un charbon ardent. D'après une expérience d'Helmholtz, l'impression sur la rétine dure dans ce cas, sans perdre de sa force, environ un quarante-huitième de seconde ; il faut donc que le disque fasse quarante-huit tours par seconde pour produire l'apparence d'un anneau lumineux et uniforme. Mais si, comme nous venons de le dire, l'impression persiste sans perdre de sa force pendant un quarante-huitième de seconde, sa durée totale avec une force décroissante est beaucoup plus considérable : elle va peut-être jusqu'à un tiers de seconde, bien que cet espace de temps varie un peu avec les circonstances, et soit assez difficile à déterminer.

Cependant il ne faut pas supposer que, dans l'expérience représentée par la figure 88, l'anneau de lumière blanche puisse avoir le même degré de luminosité que la petite bande de papier blanc collée sur le disque noir : la luminosité de l'anneau est toujours bien plus faible que celle de la petite bande blanche. La raison en est bien facile à voir : nous avons virtuellement étalé la lumière de la petite bande sur une surface bien plus grande, ce qui l'affaiblit en proportion, de sorte que, si la surface de l'anneau est cent fois celle de la bande, la luminosité du premier sera juste un centième de celle de la seconde. Si l'on veut s'assurer de l'exactitude rigoureuse de ce rapport, on peut se servir d'un petit appareil photométrique, comme celui que Plateau a employé pour cela, ou encore d'un cristal de spath d'Islande qui partage la lumière ordinaire en deux rayons d'égale intensité. Dans ce dernier cas, il faut préparer un disque moitié blanc et moitié noir, comme le représente la figure 89 ; à côté de ce disque, sur un fond noir, on met une bande du même papier blanc, puis on fait tourner le disque, qui semble aussitôt devenir gris. Si maintenant on regarde la bande de papier blanc à travers le prisme de spath d'Islande, elle paraît double, comme le représente la figure 90, et chaque image n'a plus que la moitié de l'éclat de la bande primitive; mais en même temps chacune est aussi brillante que le disque gris, ce qui prouve que la luminosité du disque gris est juste la moitié de celle du blanc. Ceci donne une idée générale de la manière de procéder; mais cette méthode exige de nombreuses corrections, dont quelques-unes se présenteront sans doute d'elles-mêmes à l'esprit du

lecteur intelligent; le seul point que nous croyions nécessaire de signaler ici, c'est que, d'après des recherches toutes récentes de Wild, les deux images fournies par le spath d'Islande n'ont pas réellement tout à fait la même luminosité, mais diffèrent entre elles d'environ trois pour cent[1]. Dove a démontré que le rapport dont nous avons parlé plus haut est également vrai pour la lumière colorée. Ce fait a pour nous une grande importance, car il sert de base au principe sur lequel sont fondés les disques de Maxwell, qui nous ont rendu tant de services dans toutes nos recherches quantitatives sur la couleur.

La durée de l'impression produite sur la rétine par les lumières de couleurs différentes n'a pas encore été étudiée avec soin. Plateau a



Fig. 89. — Disque et bande blanche pour les expériences photométriques.

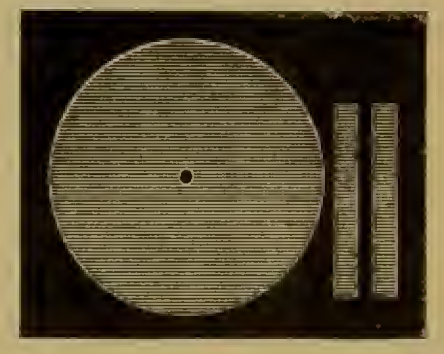


Fig. 90. — Aspect du disque précédent quand on le fait tourner, et qu'on regarde la bande blanche à travers un prisme de spath d'Islande.

fait quelques expériences avec des papiers colorés en gomme-gutte, en carmin et en bleu de Prusse, et il a constaté une petite différence entre les durées qui correspondent à ces couleurs. M. le Dr Wolcott Gibbs nous a donné l'idée d'une méthode qui résoudrait probablement ce problème d'une manière satisfaisante, et dont nous allons indiquer la marche générale : On regarde à l'aide d'un spectroscope un spectre de diffraction partagé en une série de bandes colorées contiguës, la division en bandes étant produite au moyen d'un diaphragme convenablement adapté à l'oculaire de l'instrument. Devant la fente du spectroscope, un disque tournant, percé d'une ou de plusieurs ouvertures, doit permettre à la lumière de pénétrer dans l'instrument, et, en réglant avec soin la vitesse de rotation, il sera possible de saisir le moment exact où une ou plusieurs des bandes colorées cessent de trembloter et présentent une apparence fixe et uniforme. Cette ob-

1. *Annalen* de Poggendorff, vol. CXVIII, p. 225.

servation donnerait avec exactitude l'intervalle pendant lequel l'impression d'une lumière d'une couleur donnée persiste dans l'œil avec une force constante.

Si l'on présente à l'œil une lumière très brillante, comme celle qui vient d'une fenêtre, l'impression de cette lumière persiste pendant plusieurs secondes, — bien entendu avec une force décroissante. C'est là une expérience facile à faire, et l'on trouvera qu'après avoir fermé les yeux on a le temps de reconnaître un grand nombre de détails avant que l'image disparaisse. Avec une lumière d'un éclat très vif, comme celle du soleil, l'image dure plusieurs minutes, et finit par s'évanouir après avoir passé par une série de changements de couleur assez compliqués. Il n'est peut-être pas hors de propos d'indiquer ici un fait dont il faut nous souvenir si nous voulons étudier les sensations qui succèdent à l'action sur l'œil d'une lumière blanche ou colorée. Si la lumière agit sur l'œil pendant un peu de temps, lorsqu'elle s'évanouit, comme nous venons de le dire, la sensation persiste pendant une fraction de seconde, en restant tout à fait identique à elle-même, sauf un affaiblissement graduel : par exemple, si la sensation primitive est rouge, la sensation secondaire sera exactement de la même couleur. Cette image secondaire, la seule dont nous ayons parlé jusqu'ici dans ce chapitre, a reçu le nom d'image *positive.* Mais au bout de quelques instants, l'image positive s'évanouit et est remplacée par une image de nature différente, connue sous le nom d'image *négative;* par exemple, si la lumière qui a d'abord agi sur l'œil est rouge, l'image négative est colorée en bleu verdâtre, c'est-à-dire qu'elle offre la couleur complémentaire du rouge. Ces images négatives ont une grande importance par leurs rapports avec un grand nombre de questions qui se rattachent à la théorie des contrastes; aussi nous en occuperons-nous en détail au chapitre XV.

Nous avons vu que les images secondaires positives sont utiles, parce qu'elles nous fournissent, dans le cas des disques tournants, un moyen de mêler ensemble des faisceaux de lumière colorée en proportions définies; mais ce n'est pas là la seule circonstance où ces images jouent un rôle important. Elles entrent pour une grande part dans les apparences que présente l'eau en mouvement. Par exemple, si nous étudions les vagues de l'Océan éclairées directement par le soleil, nous reconnaîtrons qu'une grande partie de leur caractère dépend de raies lumineuses allongées, qui définissent non seulement les formes des grandes masses d'eau, mais aussi celles des petites ondes qui les di-

versifient. Si maintenant nous examinons ces raies brillantes, si bien connues des peintres, en nous servant d'un disque à rotation lente avec un secteur ouvert, nous reconnaîtrons qu'en réalité il n'existe point du tout de raies, mais qu'il y a simplement des images rondes du soleil que le mouvement de l'eau allonge ainsi. Les photographies instantanées donnent le même résultat exact, et par cette raison même paraissent inexactes. Une action analogue a lieu même quand le ciel est couvert, et il se produit sur les vagues des raies lumineuses qui donnent aux ondes une apparence différente de celle qu'elles auraient si elles étaient tout à coup solidifiées, tout en conservant leur apparence vitrée. C'est encore pour la même raison que les vagues qui se brisent sur une plage nous semblent différentes de leurs photographies instantanées : lorsque nous regardons les vagues elles-mêmes, nous avons une impression composée des différents aspects qui se présentent rapidement pendant plusieurs moments successifs extrêmement courts, tandis que la photographie nous donne seulement l'aspect qui correspond à *un seul* de ces moments très courts. Tout cela s'applique aussi plus ou moins aux chutes d'eau, et explique la transparence des roues qui tournent rapidement. Par la même cause, les membres des animaux en mouvement rapide ne sont visibles que d'une manière périodique ou aux moments où le mouvement change de sens ; pendant le reste du temps, ils sont pratiquement invisibles. Ces moments de repos relatif sont ceux que les peintres choisissent pour les représenter, tandis que la photographie, qui ne sait pas choisir, reproduit souvent les positions intermédiaires, et donne ainsi un effet qui, malgré sa complète exactitude, paraît cependant absurde [1] :

1. Pour la liste complète de ce qui a été publié sur cette question, voyez le mémoire de M. J. Plateau, publié en 1877 par l'Académie des sciences de Belgique.

CHAPITRE XIV

DE L'ARRANGEMENT SYSTÉMATIQUE DES COULEURS

Comme nous l'avons vu dans les chapitres qui précèdent, la variété des couleurs que nous présentent la nature et l'art est infinie ; elle va des couleurs vives et pures du spectre aux teintes ternes et pâles des rochers et de la terre, et comprend des classes entières de couleurs qui semblent au premier coup d'œil n'avoir entre elles que peu d'affinité. Il serait difficile, par exemple, de trouver dans le spectre du prisme quelque chose qui nous rappelle le moins du monde la couleur brune ; les différentes teintes pâles que prend le bois quand on le travaille, semblent n'avoir aucun rapport avec les teintes du spectre ; il en est de même de la multitude énorme des gris que nous connaissons, et qui entrent pour une si large part dans les couleurs des paysages naturels. Si, au lieu de comparer aux couleurs du spectre les teintes étranges, merveilleuses, indescriptibles que la nature déploie autour de nous en si grande abondance, nous descendons d'un degré, et que nous les rapprochions par la pensée des teintes que fournissent nos matières colorantes les plus brillantes, — vermillon, minium, jaune de chrome, vert émeraude, bleu d'outremer, — nous n'y gagnons pas encore grand'chose : ces couleurs elles-mêmes ne paraissent avoir aucune affinité avec la foule modeste des gris et des bruns ; elles semblent appartenir à une caste plus aristocratique, et se refusent absolument à fraterniser avec la multitude plus obscure.

La couleur du vermillon dépend de trois choses, comme nous l'avons déjà dit plus haut : d'abord, de la quantité de lumière colorée qu'il renvoie à l'œil, ou de l'éclat de la lumière colorée qu'il réfléchit ; en second lieu, de la longueur d'onde de cette lumière rouge ; en troisième lieu, de la quantité de lumière *blanche* qui est mêlée avec le rouge. La couleur dépend donc de sa luminosité, de sa longueur

d'onde et de sa pureté; ces éléments, nous l'avons déjà dit, sont les constantes de la couleur [1]. Dans certains cas, il nous est facile de changer beaucoup ces constantes, et de reconnaître ainsi leur influence sur la couleur. Prenons un disque circulaire peint en vermillon pur, et cherchons à en diminuer la luminosité Il est très facile d'y arriver en transportant le disque dans une chambre rendue obscure; si nous le faisions, nous verrions la couleur se changer en rouge foncé, ou même en noir. Mais il y a quelque chose à redire à cette méthode: dans de telles circonstances, nous avons toujours une grande tendance à ne pas recevoir simplement la teinte qui se présente en réalité à nos yeux, mais à prendre en considération, sans même nous en rendre compte, le degré d'éclairage auquel elle est soumise. Nous savons que le rouge, dans une chambre rendue obscure, présente un certain



Fig. 91. — Disque composé de 10 parties de vermillon avec 90 de noir : il donne par rotation un brun chocolat d'une nuance rougeâtre sombre.

aspect; lorsque nous voyons cet aspect dans la chambre mal éclairée, nous disons que nous voyons du rouge sombre; si nous voyions le même aspect dans une chambre bien éclairée, nous lui donnerions un nom différent. Cette objection s'applique à toutes les expériences de ce genre, qu'il s'agisse d'exposer une surface à une lumière très faible ou à une lumière très vive; pour que notre appréciation ne fût pas faussée, il faudrait, si c'était possible, que nous fussions nous-mêmes toujours plongés dans une lumière moyenne. Dans le cas actuel, il est facile d'obvier à cet inconvénient. Nous portons notre disque vermillon dans une chambre où règne une lumière ordinaire, et nous en réduisons la luminosité en le combinant avec un disque noir, comme l'indique la figure 91. Lorsque nous faisons tourner rapidement le disque composé de noir et de rouge, nous étalons en réalité sur toute la sur-

1. Voyez le chapitre III.

face du disque la petite quantité de lumière rouge que réfléchit le secteur peint en rouge; nous pouvons ainsi réduire sa luminosité au degré qui nous convient. On verra qu'en combinant ainsi 10 parties de vermillon avec 90 de noir, la couleur rouge se change en un brun chocolat qui diffère beaucoup de la teinte primitive. On objectera peut-être à cette manière d'assombrir les couleurs qu'il peut y avoir dans le disque noir quelque chose qui exerce une influence particulière sur le résultat. Mais, si nous analysons à l'aide d'un prisme la faible lumière qui vient du disque noir. nous reconnaîtrons que cette lumière est essentiellement blanche, car elle contient toutes les couleurs du prisme. Nous pouvons encore exposer notre disque noir à la lumière solaire, en analyser la lumière avec le prisme, et comparer les résultats de cette analyse avec ceux que donne une feuille de papier blanc qui n'est point exposée aux rayons solaires, et qui est garantie de la lumière diffuse. Lorsque nous aurons ainsi égalisé les luminosités du papier noir et du papier blanc, nous reconnaîtrons que les couleurs qu'elles fournissent au prisme sont très peu différentes. Nous pouvons encore démontrer d'une autre façon que le disque noir obscurcit le rouge comme le ferait une chambre peu éclairée : rendons d'abord une chambre aussi obscure qu'il nous plaît, ménageons dans une de ses parois une ouverture un peu plus grande que notre disque rouge, et arrangeons-nous de manière à ne pas laisser beaucoup de lumière pénétrer dans la chambre par cette ouverture; nous pourrons alors mélanger virtuellement l'obscurité de cette chambre avec la lumière rouge de notre disque. Pour cela, nous mettons simplement un *secteur rouge* sur la machine de rotation disposée devant l'ouverture qui donne dans la chambre peu éclairée, comme l'indique la figure 92, et nous imprimons à la machine un mouvement rapide. Nous avons alors la lumière rouge d'une faible partie du disque rouge étalée sur l'obscurité de la chambre mal éclairée, et le résultat est le même que tout à l'heure : un brun chocolat (fig. 93). Après avoir ainsi justifié l'emploi du disque noir, nous pouvons désormais nous en servir pour toutes nos recherches; nous verrons ainsi que, simplement en réduisant avec son secours la lumière rouge de notre disque vermillon, nous produisons non seulement une série de rouges sombres et ternes, mais encore un grand nombre de bruns fort beaux et d'un aspect particulier. Si nous répétons les mêmes expériences avec notre disque minium, nous obtiendrons une série de bruns rougeâtres et chauds; le disque jaune de chrome nous donnera une série de jaunes ternes et de

verts olive foncés, d'un aspect étrange; le disque vert et le disque bleu nous fourniront deux séries de tons, les uns vert foncé, les autres bleu foncé. Toutes ces expériences montrent les changements que l'on produit en réduisant simplement l'intensité de la lumière colorée, sans l'altérer en aucune autre façon.

Nous pouvons faire des expériences analogues pour étudier les effets du mélange de la lumière blanche avec une lumière colorée donnée : il suffit pour cela de combiner le disque coloré avec un disque blanc, et une rotation rapide nous donnera le résultat cherché. De cette façon, nous produirons une série de teintes pâles, qui seront rougeâtres, verdâtres ou bleuâtres, suivant le disque dont nous nous serons servi.

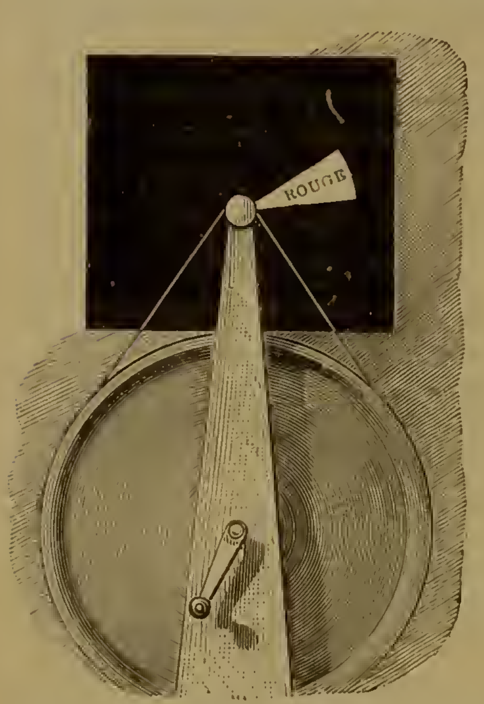


Fig. 92. — Secteur rouge vu sur le fond sombre que fournit une chambre très peu éclairée.



Fig. 93. — Apparence que produit la rotation rapide du secteur de la fig. 92.

Ainsi nous pouvons obtenir un grand nombre de teintes, soit en réduisant la luminosité de notre lumière colorée, soit en la mélangeant avec plus ou moins de blanc; mais nous ne tardons pas à reconnaître que pour reproduire un grand nombre de couleurs naturelles il faut employer les deux procédés à la fois. En combinant avec notre disque coloré un disque noir et un disque blanc, nous arrivons alors à imiter un bien plus grand nombre des teintes pâles et indescriptibles des objets naturels. Pour rendre notre puissance complète, il faudrait aussi pouvoir changer à volonté la longueur d'onde de la lumière réfléchie par le disque coloré [1]. Mais il existe des difficultés pratiques qui nous em-

1. Pour la description des effets que produit le changement de la longueur d'onde, voyez le chapitre III.

pêchent d'effectuer ces changements d'une manière définie et parfaite, et nous nous voyons enfin réduits à renoncer à nos disques si commodes et si instructifs, pour avoir recours aux couleurs du spectre solaire. Ces couleurs sont pures, en ce sens qu'elles sont exemptes de tout mélange de lumière blanche ; nous pouvons en changer la luminosité autant qu'il nous plaît, et nous connaissons d'une manière fort exacte les longueurs des différentes ondes qui les produisent; enfin nous pouvons y mêler à volonté de la lumière blanche. Avec les couleurs du spectre et un pourpre que nous formons en mêlant ensemble le rouge et le violet du spectre, nous pouvons reproduire une couleur quelconque, pourvu qu'il nous soit permis d'augmenter ou de diminuer

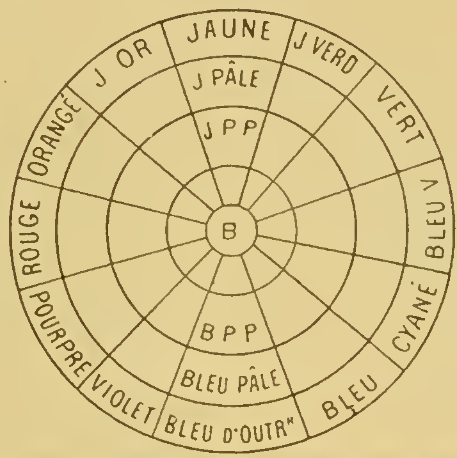


Fig. 94. — Carte des couleurs : les teintes du spectre occupent la circonférence, et leurs mélanges avec des quantités toujours croissantes de blanc sont à l'intérieur. Le blanc est au centre. Nous laissons en blanc, faute de place, les espaces réservés à la plupart des nuances grisâtres.

la luminosité des teintes spectrales, et d'y ajouter la quantité nécessaire de lumière blanche. Ce fait va nous guider vers une classification des couleurs. La série rouge, orangé, jaune, vert, bleu, violet, pourpre, revient sur elle-même, et on peut par conséquent la disposer en forme de cercle, comme Newton l'avait fait le premier. En dressant une carte des couleurs, nous pouvons mettre les couleurs complémentaires en regard les unes des autres, et le blanc au milieu ; les couleurs pures du spectre seront situées sur la circonférence du cercle, et les mélanges de ces couleurs avec le blanc seront placés plus près du centre, comme l'indique imparfaitement la figure 94. Une carte ainsi dressée contiendra toutes les couleurs qui peuvent exister avec un degré de lumière donné, disposées en ordre régulier. Dans le secteur assigné

aux rouges, nous trouverons sur la circonférence toutes les espèces de rouge pur, depuis le rouge pourpré jusqu'au rouge orangé, et, en avançant vers le centre du cercle, un grand nombre de teintes produites par le mélange de ces différents rouges avec des quantités de plus en plus grandes de blanc. De même pour toutes les autres couleurs pures : toutes les teintes et les nuances possibles appartenant au degré de lumière choisi se trouveront quelque part dans le cercle ; les bleus et les verts si nombreux, toute la série des pourpres, depuis le rouge pourpré jusqu'au violet pourpré, tous en un mot, y seront représentés. Une de nos conditions fondamentales a été de mettre les couleurs complémentaires vis-à-vis l'une de l'autre ; aussi devons-nous donner à notre bleu non seulement la teinte voulue, mais encore une luminosité qui lui permette de neutraliser exactement le jaune qui est placé vis-à-vis. Ces deux couleurs doivent aussi avoir une luminosité telle que leur mélange fournisse un blanc deux fois aussi brillant que celui du centre du cercle. Il doit en être de même de tous les autres couples de couleurs complémentaires, qu'ils soient situés sur la circonférence ou à l'intérieur du cercle. Cette manière d'opérer nous donne une carte dans laquelle toutes les couleurs de même intensité sont bien disposées les unes par rapport aux autres, et elle nous permet de voir d'un seul coup d'œil quelques-uns des rapports des couleurs entre elles [1].

Dans la construction de cette carte des couleurs, nous avons supposé que les couleurs brillantes du spectre étaient situées sur la circonférence du cercle, et qu'à mesure que nous avancions vers le centre il s'y mêlait une quantité de plus en plus grande de lumière blanche. Imaginons maintenant que nous diminuions un peu la luminosité de nos couleurs spectrales ; cela produira pour toutes les teintes de la carte et pour le blanc du centre un changement correspondant, et tous deviendront proportionnellement plus sombres ; nous aurons donc une nouvelle carte des couleurs, moins lumineuse, mais sous tous les autres rapports très semblable à la première. Diminuons encore la lumière, et nous aurons un second effet correspondant à cette diminution ; et, si nous continuons dans le même sens, nous obtiendrons toute une série de cartes des couleurs, chacune plus sombre

1. Dans ce cas, nous considérons comme également intenses les couleurs qui, mélangées, se neutralisent mutuellement et produisent le même blanc. La luminosité de ces couleurs, mesurée par l'œil, paraît souvent bien différente.

que la précédente. Les deux limites de cette série sont évidemment d'une part les couleurs brillantes du spectre, et de l'autre le noir franc; entre ces limites nous pourrons mettre une série de plusieurs centaines de cartes des couleurs, qui différeront entre elles d'une manière appréciable au point de vue de la luminosité, mais qui, sous les autres rapports, ressembleront autant qu'il est possible au type primitif.

Si nous superposons dans un ordre régulier toute cette série de cartes, en mettant au sommet la plus lumineuse, c'est-à-dire celle d'où nous sommes partis, nous obtiendrons un cylindre qui contiendra une série infinie de couleurs. L'axe de ce cylindre sera blanc au sommet, et, en allant de haut en bas, il passera par une série de gris

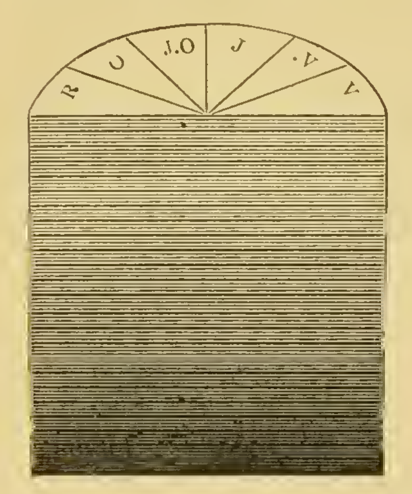


Fig. 95. — Section verticale d'une pile de cartes des couleurs, les plus lumineuses placées au sommet.

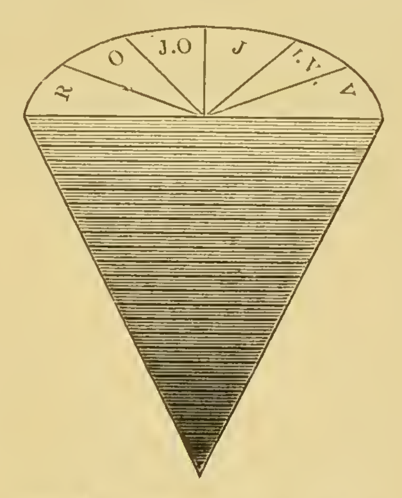


Fig. 96. — Section d'un cône des couleurs.

de plus en plus foncés, qui aboutiront enfin au noir. Une section verticale de ce cylindre présenterait l'aspect qu'indique grossièrement la figure 95, l'axe ainsi que les cartes devenant de plus en plus foncé en allant vers la base. Or nous savons que, à mesure que des surfaces colorées sont de moins en moins éclairées, le nombre des teintes que nous pouvons y distinguer va en diminuant. Par conséquent, si nous considérons notre pile cylindrique de cartes, nous verrons que des surfaces plus petites suffiront parfaitement pour montrer les teintes les plus sombres, et que nous pouvons sans inconvénient réduire notre cylindre à un cône, comme l'indique la figure 96. Ce cône des couleurs rappelle la pyramide de couleurs décrite par Lambert en 1772.

On n'a pas oublié que nous avons commencé notre carte des couleurs par les couleurs du spectre, qui, soit pures, soit mélangées de blanc, constituent la base de notre cône. Dans ce cas, nous avons attribué aux couleurs du spectre seulement un éclat modéré, c'est-à-dire celui qui conviendrait pour une observation prolongée. Ce sont là les couleurs les plus brillantes que notre cône contienne jusqu'ici, mais ce ne sont en aucune façon les plus brillantes que nous puissions voir; au-dessus se trouve une longue série de teintes que nous pouvons distinguer avec plus ou moins de perfection. Comme notre capacité de distinguer les couleurs très lumineuses décroît à mesure que leur luminosité s'accroît, les cartes des couleurs de cette nouvelle série peuvent être traitées comme l'ont été celles des couleurs moins brillantes. De cette façon, nous obtiendrons un second cône, que nous pourrons superposer à celui que nous venons de décrire. Au sommet du second cône se trouve le blanc le plus brillant que l'œil puisse percevoir; un peu plus bas et tout autour sont situés une série de couleurs spectrales et un pourpre très lumineux, dont l'éclat est tel qu'à l'œil ils semblent à peine différer d'un blanc brillant; plus bas encore, à la surface du cône se trouvent des couleurs encore très brillantes, et à l'intérieur du cône les mélanges de ces couleurs avec du blanc. Ce double cône contient donc, en résumé, toutes les couleurs que nous sommes capables de percevoir dans toutes les circonstances possibles; elles sont disposées dans un ordre régulier qui permet de voir immédiatement leurs teintes et leurs luminosités, ainsi que la quantité de lumière blanche qui y a été mêlée. D'un sommet à l'autre elles sont arrangées par couples complémentaires, et le double solide que nous venons de décrire indique encore clairement quelques-uns de leurs autres rapports mutuels.

Ajoutons ici un mot sur la possibilité d'exécuter ce cylindre ou ce double cône des couleurs. D'abord, nous n'avons pas de matières colorantes qui nous permettent de bien représenter les couleurs du spectre, même lorsque leur luminosité est très modérée; nos meilleures couleurs réfléchissent toutes plus ou moins de lumière blanche mêlée à leur lumière colorée. Si nous cherchions à construire avec ces éléments une carte des couleurs, non seulement nous serions obligés de descendre dans le cône de la figure 96 assez loin vers son sommet noir, mais encore notre carte serait plus petite que la section du cône en ce point, par suite de la présence de la lumière blanche étrangère réfléchie par les matières colorantes. Il serait presque impossible de

préparer des couleurs qui convinssent à la production même d'une seule des cartes de la série, car il serait indispensable qu'elles fussent exactes sous le triple rapport de la teinte, de la luminosité et de l'absence de lumière blanche.

Il y a encore d'autres objections à ce système tel que nous venons de le présenter. Il ne nous fournit aucun moyen de donner aux couleurs une place rationnelle sur la circonférence du cercle; nous ne savons si le jaune doit être placé à 90° du rouge ou à une autre distance; il en est de même de la répartition angulaire de toutes les autres couleurs; ce système ne nous apprend rien sur ce point. Il ne nous apprend rien non plus sur les effets que produit le mélange de couleurs qui ne sont pas complémentaires.

Il existe une autre manière d'aborder ce problème; elle est devenue fort en faveur et offre certains avantages à celui qui étudie les couleurs. Supposons que l'on place en R (fig. 97) du rouge d'une certaine luminosité, et en V du vert de la même luminosité; alors sur



Fig. 97. — Sur la ligne RV nous pouvons disposer tous les mélanges de rouge et de vert. La figure représente le cas d'un mélange de parties égales de rouge et de vert. Le point d'appui (point de mélange) doit se trouver au milieu de RV.



Fig. 98. — Un mélange de parties égales de rouge et de vert donne du jaune; la position de ce jaune sur la ligne VR est en J.

la ligne RV nous pouvons disposer ou imaginer que nous disposions tous les mélanges possibles de ces deux couleurs. Pour le faire, nous supposons en R et en V certains poids correspondant aux luminosités des deux couleurs (ou aux quantités que nous employons dans un cas donné), et alors nous procédons comme s'il s'agissait d'un problème de mécanique. Prenons un exemple pour mieux fixer les idées : supposons que la luminosité du rouge et celle du vert soient 10 : nous mêlons ensemble 5 parties de rouge et 5 de vert, et nous obtenons du jaune; la position de ce jaune sera en J (fig. 98), à égale distance de R et de V. Nous plaçons le jaune en J, parce que, si nous voulons que 5 parties de rouge fassent équilibre à 5 de vert, le point d'appui doit être au milieu de la ligne RV. Nous avons donc déterminé d'une

manière exacte sur la ligne RV la position du jaune produit par le mélange de parties égales de rouge et de vert. Ce jaune, qui résulte du mélange de 5 parties de rouge avec 5 de vert, aura aussi la même luminosité que le rouge ou le vert qui en sont les éléments. Si nous mélangeons ensemble 7 parties de rouge et 3 de vert, la position du mélange sera en O (fig. 99). Si nous partageons la ligne RV en dix parties égales, alors la distance de O à R sera 3 de ces parties, et celle de O à V sera de 7 parties, parce que c'est seulement ainsi qu'il peut y avoir équilibre. D'une manière générale, il y aura toujours équilibre lorsque le poids de R multiplié par la distance OR sera égal au poids de V multiplié par la distance VO. Dans ce dernier cas, le mélange au point O sera orangé et aura une luminosité identique à celle des éléments vert et rouge. Nous pouvons continuer de même, remplissant la ligne RV de tous les mélanges possibles de rouge et de



Fig. 99. — Sept parties de rouge sont mélangées avec trois de vert; le mélange est orangé, et situé en O sur la ligne RV.

vert. Or c'est là un procédé qui peut être réellement appliqué. Nous pouvons prendre pour notre rouge un disque vermillon, puis choisir pour vert un disque dont la couleur ait, autant que possible, la même luminosité, et la méthode de rotation nous permettra de produire toutes les teintes que nous venons d'indiquer. Nous pouvons copier ces teintes et disposer les copies le long de la ligne RV ; ou bien, si nous ne voulons pas nous donner cette peine, nous pouvons du moins toujours reproduire à volonté, au moyen du disque rouge et du disque vert, n'importe laquelle des teintes qui appartiennent à la ligne RV. Cette explication va servir à faire comprendre l'idée fondamentale sur laquelle repose le diagramme des couleurs de Newton et de Maxwell.

Jusqu'ici, nous ne nous sommes servi que de deux couleurs, le rouge et le vert, et nous avons pu, en les mélangeant en diverses proportions, obtenir différentes teintes d'orangé, de jaune et de jaune verdâtre. Si nous voulons avoir les autres couleurs, le bleu, le violet et le pourpre, ainsi que les mélanges de toutes les couleurs avec le blanc, il faut opérer sur trois couleurs au lieu de deux. Maxwell avait choisi le vermillon, le vert émeraude et le bleu d'outremer, parce que, d'après lui, ces trois couleurs représentent à peu près les trois

couleurs fondamentales. Il les mettait aux trois sommets d'un triangle équilatéral, et déterminait comme nous l'expliquerons plus loin la position du blanc (ou du gris) dans l'intérieur de ce triangle. Toutes les couleurs que l'on peut obtenir en mêlant le rouge et le vert se trouveront sur la ligne qui joint ces deux couleurs; de même pour le vert et le bleu; de même encore pour le rouge et le bleu. La figure 100 montre ces couleurs disposées le long des côtés du triangle; elles sont aussi arrangées de telle sorte que les couleurs complémentaires se trouvent vis-à-vis l'une de l'autre ; le blanc est à l'intérieur du triangle, et le long des lignes qui joignent les côtés au centre se trouvent les différentes couleurs mélangées à une quantité de blanc toujours croissante en allant vers le centre. Les couleurs que l'on obtient en mêlant ensemble le rouge et le vert, ou le vert et le bleu, étant situées sur les côtés du triangle, sont par suite, comme règle générale, plus près de la position du blanc que les trois couleurs fondamentales placées aux trois sommets du triangle. Ceci représente géométriquement le fait que les teintes produites par le mélange de deux couleurs fondamentales sont plus pâles, ou mêlées de plus de blanc que les couleurs fondamentales elles-mêmes. En général, dans un diagramme de cette espèce, plus on s'éloigne du centre ou de la position du blanc, plus les couleurs qu'on trouve sont exemptes de blanc. La position angulaire des couleurs est arbitraire jusqu'à un certain point, puisqu'elle est déterminée en partie par le mélange et en partie par l'hypothèse que certaines teintes de rouge, de vert et de bleu représentent les couleurs fondamentales. Si nous prenions pour couleurs fondamentales le minium, le vert d'herbe et le violet, la position angulaire de toutes les autres couleurs serait immédiatement changée. Mais, en dépit de cette imperfection et d'autres encore, le diagramme des couleurs est précieux comme moyen d'étude, en nous permettant d'exprimer géométriquement et avec un certain degré de précision nos idées sur les couleurs. Il est facile, par exemple, à l'aide de ce diagramme, de déterminer le résultat que donnera le mélange de n'importe lesquelles des couleurs qu'il contient ou qu'il est supposé contenir; si nous mélangeons, par exemple, des quantités égales de rouge et de bleu cyané, la seule inspection de la figure montre que le résultat obtenu sera un pourpre blanchâtre; de même aussi, des parties égales de jaune et de bleu cyané donneront un vert blanchâtre (fig. 100). Nous pouvons faire plus encore à l'aide de ce diagramme : nous pouvons mêler ensemble un nombre quelconque de couleurs, et déterminer la position et par

conséquent la teinte de la couleur résultante. Pour cela, nous choisissons deux quelconques des couleurs qu'il s'agit de mélanger, nous les joignons par une droite, et nous déterminons, comme nous l'avons expliqué plus haut, la position de la résultante ; nous joignons alors la troisième couleur par une ligne droite avec le point que nous venons de déterminer, et nous trouvons la position de la seconde résultante, et ainsi de suite. On pourra voir dans l'appendice à ce chapitre tous les détails sur la manière de construire un diagramme de

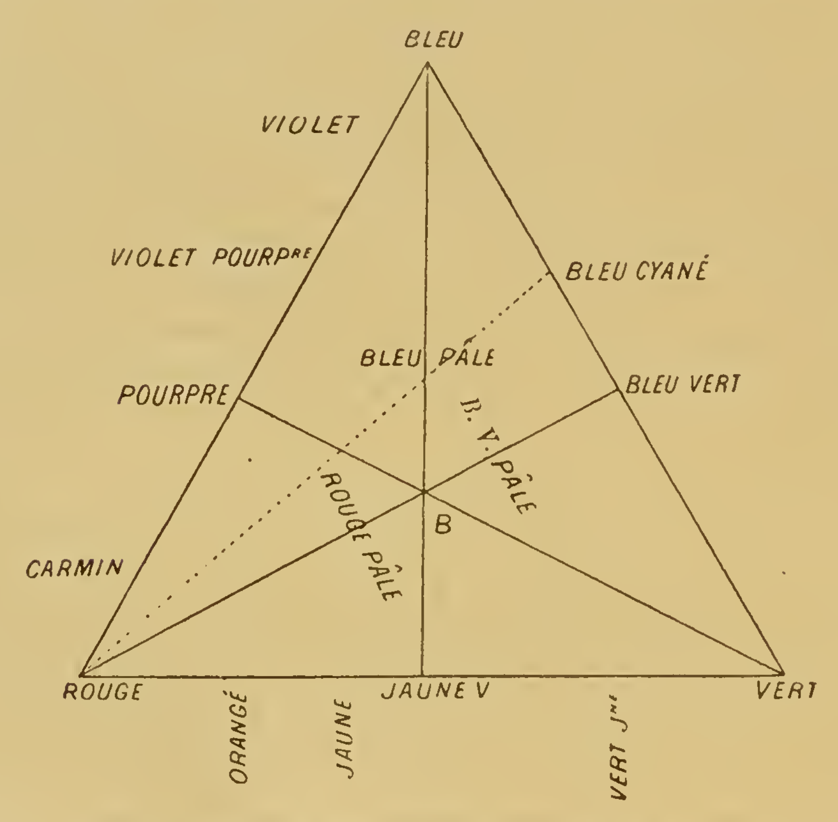


Fig. 100. — Couleurs que donne le mélange du rouge avec le vert, etc. Les couleurs pâles, c'est-à-dire mélangées de blanc, se trouvent à l'intérieur du triangle, et deviennent de plus en plus pâles à mesure qu'on se rapproche du blanc B.

couleurs de cette espèce, ainsi que des explications sur la méthode suivie par Maxwell pour y introduire des couleurs plus ou moins lumineuses que les trois couleurs fondamentales.

Les cartes des couleurs qui ont jusqu'ici été réellement publiées et soumises au public, n'ont pas le même caractère que celles que nous venons de décrire, et sont destinées à montrer les résultats que donne, non le mélange des lumières colorées, mais celui des substances colorées. Parmi les tentatives les plus anciennes faites dans ce sens, nous

citerons celles faites par Le Blond en 1735 et par du Fay en 1737. En 1758, T. Mayer publia un mémoire sur ses expériences. Il avait choisi pour couleurs fondamentales le vermillon, un jaune brillant et le bleu de smalt. En 1772, Lambert employa pour la construction de sa pyramide le carmin, la gomme-gutte et le bleu de Prusse. Ces cartes des couleurs étaient dressées en mêlant des poids déterminés des couleurs fondamentales et de noir de fumée, de façon à obtenir une aussi grande variété de teintes que possible, et en disposant ces teintes en séries régulières. Les belles cartes des couleurs de M. Chevreul sont essentiellement de la même nature que les dernières décrites. M. Chevreul s'est servi d'un cercle divisé en trois parties égales par des rayons faisant entre eux un angle de 120°. et a mis sur ces rayons le rouge. le jaune et le bleu ; les teintes de ces couleurs étaient copiées sur certaines parties du spectre du prisme prises pour types. Entre le rouge et le jaune, il a introduit les différentes nuances de l'orangé et du jaune orangé ; entre le jaune et le bleu, les verts ; enfin, entre le violet et le rouge, les pourpres. Ceci constitue le premier cercle chromatique, qui contient aussi les couleurs les plus pures et les plus intenses. Le second cercle présente les mêmes couleurs, mélangées d'une quantité déterminée et assez faible de noir ; le troisième cercle est la répétition du second, avec encore plus de noir, et ainsi de suite. Il y a dix de ces cercles, contenant chacun soixante-douze teintes ; les couleurs complémentaires sont disposées l'une en face de l'autre. Outre les cercles, il y a des cartes contenant les couleurs arrangées par bandes parallèles ; ces cartes montrent les résultats que donne le mélange de noir et de blanc avec les couleurs contenues dans le premier cercle. Elles se composent de vingt-deux bandes, la bande marquée 0 étant blanche, la bande 21 noire, et la bande 10 identique à la couleur correspondante du premier cercle. Si l'on part de cette bande numéro 10 et que l'on avance vers le zéro, la couleur devient de plus en plus pâle, puisqu'elle est mélangée d'une quantité de blanc de plus en plus grande ; si l'on marche dans l'autre sens, la couleur devient plus sombre et aboutit enfin au noir. Il y a soixante-douze séries de ces bandes, et aussi une pour le noir et le blanc.

Les idées sur lesquelles cette carte est fondée sont au fond non seulement arbitraires, mais encore vagues, et l'exécution de l'exemplaire que nous en avons eu sous les yeux laissait beaucoup à désirer. Nous ne saurions regarder cette carte des couleurs comme un véritable pas en avant vers une classification scientifique des couleurs ; c'est plutôt

une répétition plus soignée des travaux de Mayer, de Lambert et de Runge. En réalité, notre connaissance des couleurs et nos moyens de les soumettre à l'expérience ne sont pas encore assez avancés pour nous permettre même de proposer un plan de classification vraiment scientifique, et entre la proposition et sa mise à exécution il y aura sans doute bien des difficultés à vaincre. Aussi ce chapitre et son appendice doivent-ils être regardés plutôt comme l'énoncé du problème que comme des essais de solution.

APPENDICE AU CHAPITRE XIV

LES DIAGRAMMES DES COULEURS

Mettant à exécution une idée émise par Newton, Maxwell a construit un diagramme dans lequel les couleurs des substances colorantes et celles d'un grand nombre d'objets naturels peuvent être disposées d'après certains principes et certaines règles que nous allons exposer. Or, bien que quelques-unes de ces règles soient arbitraires, cependant en les acceptant on obtient une carte qui offre à celui qui étudie les couleurs bien des résultats précieux. Le meilleur moyen de faire comprendre l'utilité et la nature de ce diagramme des couleurs, sera peut-être de décrire la marche que nous avons nous-même suivie pour en construire un.

Suivant la méthode de Maxwell, nous avons pris pour nos trois



Fig. 101. — Disque composé de vermillon, de vert émeraude, d'outremer, de blanc et de noir, disposés de manière à produire du gris.

couleurs fondamentales le vermillon, le vert émeraude et le bleu d'outremer artificiel, et nous les avons placés aux trois sommets d'un triangle équilatéral. La longueur de chacun des côtés de ce triangle était de 200 divisions de l'échelle adoptée. La première chose à faire ensuite était de déterminer la position à assigner au blanc dans le triangle. Pour y arriver, nous avons combiné ensemble trois disques, l'un vermillon, l'autre vert émeraude et le troisième bleu

d'outremer, comme l'indique la figure 101, en ayant soin de mettre sur le même axe deux disques plus petits, l'un noir et l'autre blanc. En mélangeant les couleurs par rotation rapide, nous avons constaté que 36,46 parties de vermillon avec 33,76 de vert émeraude et 29,76 de bleu d'outremer donnaient un gris semblable à celui obtenu par le mélange de 28,45 parties de blanc avec 71,55 de noir. L'expérience nous a donné en réalité 24,5 parties de blanc; mais nous avons corrigé ce chiffre en y ajoutant le blanc dû au disque noir, parce que nous avions préalablement constaté que, si nous représentions par 100 la luminosité du papier blanc qui couvrait le disque blanc, celle du noir était 5,24. Nous avons fait la même correction dans toutes les expériences qui suivent. L'équation devient alors :

$$36{,}46\ \mathrm{R} + 33{,}76\ \mathrm{V} + 29{,}76\ \mathrm{B} = 28{,}45\ \mathrm{Bl}. \qquad (1)$$

Il faut maintenant partager la ligne RV de la figure 103 dans le rapport de 36,46 à 33,76 :

$$\frac{36{,}46 + 33{,}76}{36{,}46} = \frac{200}{103{,}5},$$

c'est-à-dire que, si nous mélangeons du vermillon et du vert émeraude dans le rapport de 36,46 à 33,76, le point de mélange α se trouvera sur la ligne RV, et sera situé à une distance du point V égale à 103,5 divisions (fig. 103). Ce point est la position du complément de l'outremer fondamental B. Nous joignons maintenant par une ligne droite le point α au point B, nous mesurons cette ligne, dont la longueur est de 173,5 divisions, et nous cherchons le point du mélange de 36,46 R + 33,76 V avec 29,76 B, au moyen de la proportion suivante :

$$\frac{(36{,}46 + 33{,}76) + 29{,}76}{29{,}76} = \frac{173{,}5}{51{,}64}.$$

Ce point de mélange est la position du blanc, puisque le vermillon, le vert émeraude et l'outremer, quand on les mélange dans les proportions indiquées ci-dessus, donnent du blanc. Ainsi le blanc B′ (fig. 103) sera sur la ligne αB, à une distance de α égale à 51,64 divisions. Il doit évidemment se trouver quelque part sur cette ligne, car aux deux extrémités de αB sont des couleurs complémentaires, et il doit y avoir sur cette ligne un point de mélange blanc. On remarquera que dans cette méthode les couleurs sont traitées, selon l'idée de Newton, comme si c'étaient des poids agissant à l'extrémité de bras de levier auxquels on a donné les longueurs nécessaires pour que le système soit en équilibre. Il faut observer aussi que l'on

a admis que les couleurs vermillon, vert émeraude et bleu d'outremer ont la même intensité, ou que des surfaces égales de ces couleurs ont le même poids. Ainsi 36,46 parties de vermillon et 33,76 de vert émeraude, agissant sur un bras de levier de 51,64 divisions de longueur, font équilibre à 29,76 parties d'outremer agissant sur un bras de levier d'une longueur de 121,86 divisions. Les bras de levier du vermillon et du vert émeraude passant par B' sont aussi équilibrés de même, et tout le système est en équilibre.

Le blanc ou le gris obtenu par l'équation (1) est l'équivalent de 100 parties de couleur; en multipliant 28,45 par 3,51, nous obtenons 100; nous substituons ces 100 unités de gris aux 28,45 de blanc dans l'équation (1), et nous obtenons ce que Maxwell appelle la valeur corrigée du blanc. Le facteur 3,51 a reçu le nom de coefficient du blanc, et sert à établir un rapport entre l'équation (1) et celles qui suivent. Les coefficients du vermillon, du vert émeraude et du bleu d'outremer ont, dès le début, été supposés égaux à 1, et par conséquent l'équation (1) corrigée devient :

$$36{,}46\ \mathrm{R} + 33{,}76\ \mathrm{V} + 29{,}76\ \mathrm{B} = 100\ \mathrm{Blanc}. \qquad (2)$$

Ainsi nous avons marqué sur notre diagramme des couleurs les positions de nos trois couleurs fondamentales et celle du blanc; nous pouvons donc déterminer les positions de toutes les autres couleurs et de leurs mélanges. Par exemple, pour déterminer la position du jaune de chrome pâle, nous aurons à combiner par voie de rotation un disque couvert de cette couleur avec deux disques, l'un vert émeraude et l'autre bleu d'outremer (fig. 102). L'expérience donne l'équation suivante :



Fig. 102. — Disque composé de jaune de chrome, de vert émeraude, d'outremer, de blanc et de noir, disposés de manière à donner par rotation un gris pur.

$$26{,}9\ \mathrm{J} + 12{,}5\ \mathrm{V} + 60{,}6\ \mathrm{B} = 32{,}4\ \mathrm{Blanc} + 67{,}6\ n. \qquad (3)$$

Avant de nous servir de l'équation (3), il faut la mettre en rapport avec l'équation (2), et la première chose à faire pour cela est

d'exprimer la valeur du blanc de la même manière que dans l'équation (2), c'est-à-dire en le multipliant par son coefficient 3,51, ce qui donne pour valeur du blanc corrigé le nombre 113,87. Nous substituons cette quantité dans l'équation (3), qui devient :

$$26,9 \text{ J} + 12,5 \text{ V} + 60,6 \text{ B} = 113,87 \text{ Blanc.} \qquad (4)$$

Il faut maintenant corriger la valeur du jaune de chrome de telle façon que nous ayons dans les deux membres de l'équation le même nombre d'unités soit grises soit colorées; ainsi :

$$113,87 - (60,6 + 12,5) = 40,77,$$

de sorte que 40,77 est la valeur corrigée du jaune de chrome, et que l'équation (3) définitivement corrigée devient :

$$40,77 \text{ J} + 12,5 \text{ V} + 60,6 \text{ B} = 113,87 \text{ Blanc.} \qquad (5)$$

Pour obtenir le coefficient du jaune de chrome, nous divisons la valeur corrigée par la valeur primitive :

$$\frac{40,77}{26,9} = 1,51 = \text{coefficient du jaune de chrome.}$$

Nous pouvons maintenant déterminer la position du jaune de chrome sur le diagramme. Nous partageons la ligne BV en deux parties qui soient entre elles dans le rapport de 12,5 à 60,6 :

$$\frac{12,5 + 60,6}{12,5} = \frac{200}{34,2}.$$

Ainsi la position du complément du jaune de chrome est sur la ligne BV (fig. 103) au point marqué cobalt, à une distance de B égale à 34,2 divisions; si l'on mesure la distance de ce point à B′, on la trouve égale à 94,1 divisions. Nous joignons ce point par une ligne droite à B′, et nous prolongeons cette ligne : la position du jaune de chrome sera sur cette ligne, et peut être déterminée par la proportion suivante :

$$\frac{\text{Poids du jaune de chrome,}}{\text{Poids du vert émeraude} + \text{poids de l'outremer.}} = \frac{\text{Distance du vert émeraude et de l'outremer}}{\text{Distance du jaune de chrôme}};$$

ou, en nombres,

$$\frac{40,77}{60,6 + 12,5} = \frac{94.1}{168,7}.$$

La distance du jaune de chrome au point neutre ou au blanc est par conséquent de 168,7 divisions; nous l'inscrivons au diagramme avec son coefficient 1,51. Par un procédé semblable, nous déterminons sur le diagramme les positions et les coefficients des couleurs les plus usuelles (fig. 103). Si l'on examine le diagramme, on verra que sur un même rayon les couleurs pâles, c'est-à-dire étendues de

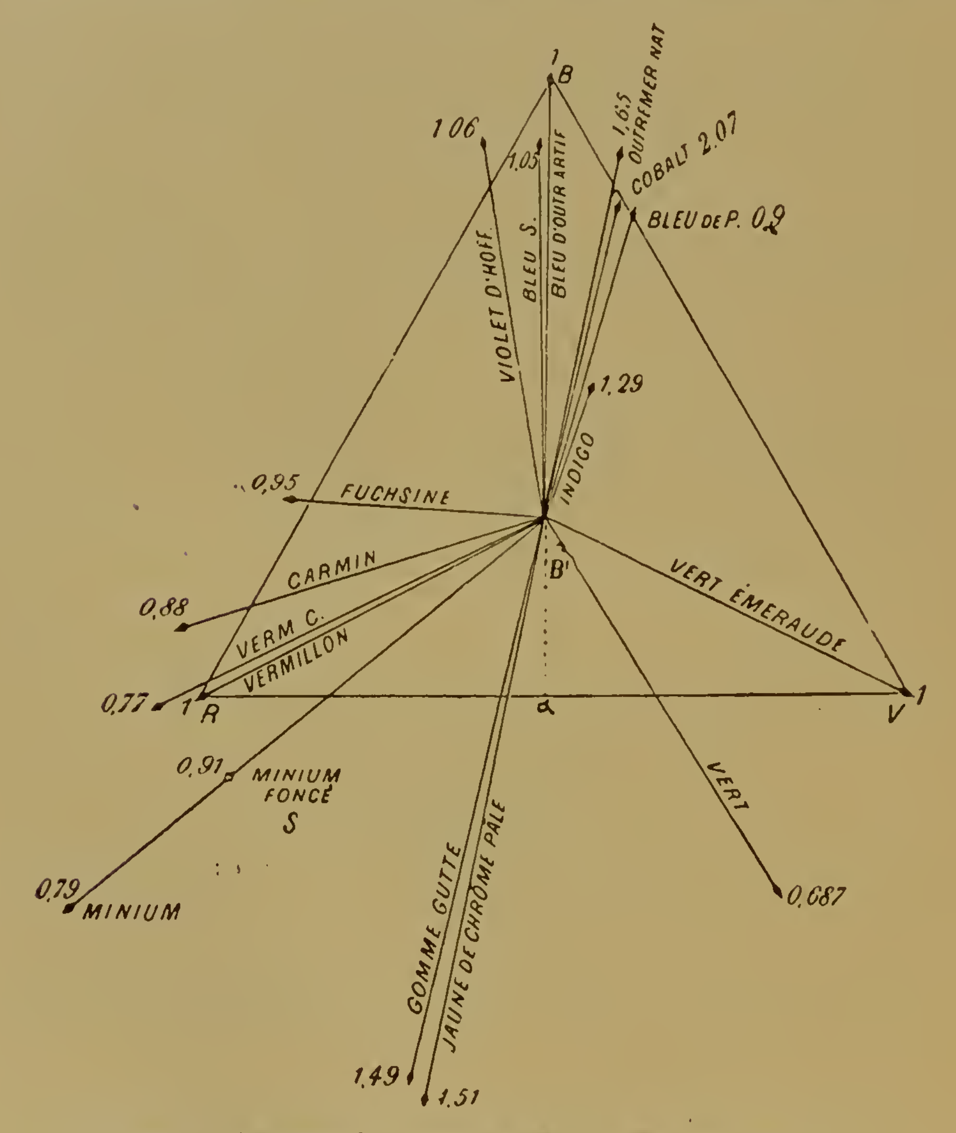


Fig. 103. — Diagramme des couleurs de Maxwell, construit par O. Rood.

beaucoup de blanc, sont situées plus près de B' que celles qui sont plus exemptes de ce mélange; on observera aussi que les couleurs les plus lumineuses ont des coefficients plus forts. Ce diagramme nous donne des mesures relatives de la luminosité et de la saturation des couleurs situées sur le même rayon ou sur des rayons très-voisins; il assigne aussi aux couleurs leurs positions angulaires, de

sorte qu'elles sont nettement définies au triple point de vue de la position angulaire, de l'intensité et de la plus ou moins grande pureté.

Cependant il ne faut pas oublier que la construction de ce diagramme est fondée sur plusieurs hypothèses plus ou moins arbitraires. La première de ces hypothèses, c'est que le vermillon, le vert émeraude et le bleu d'outremer correspondent réellement aux trois couleurs fondamentales. Si nous leur substituons d'autres couleurs, telles que le minium, le vert d'herbe et le violet, nous obtiendrons pour toutes les couleurs que nous introduirons ensuite dans le diagramme des positions angulaires différentes de celles que nous avons trouvées dans la figure 103, et aussi des coefficients différents. La seconde hypothèse, celle de l'égalité d'intensité ou de coefficient du vermillon, du vert émeraude et du bleu d'outremer, n'est nullement fondée, car l'intensité du vert émeraude est plus grande que celle du bleu d'outremer. Il en résulte que les coefficients et les distances du blanc central B′ ne sont pas comparables sur des rayons différents.

Nous avons reconstruit le même diagramme des couleurs, en y faisant entrer des coefficients qui représentent les véritables luminosités des trois couleurs fondamentales. Ces coefficients ont été déterminés par la méthode décrite au chapitre III. Nous avons, comme notre devancier, pris pour couleurs fondamentales le vermillon, le vert émeraude et le bleu d'outremer artificiel, et nous les avons mis aux trois sommets d'un triangle équilatéral. Si l'on représente par 100 la luminosité du papier blanc, celles de ces trois couleurs sont : vermillon, 26,85; vert émeraude, 48,58; bleu d'outremer, 7,57. Lorsqu'on introduit ces coefficients dans l'équation (1), elle devient :

Vermillon.		Vert émeraude.		Outremer.		Blanc.
$(26,85 \times 0,3646)$	$+$	$(48,58 \times 0,3376)$	$+$	$(7,57 \times 0,2976)$	$=$	$28,44;$

ou, en effectuant les opérations,

$$9,8 \text{ verm.} + 16,4 \text{ vert ém.} + 2,2 \text{ outr.} = 28,44 \text{ blanc.} \quad (6)$$

L'équation (6) nous a permis de déterminer la position du blanc en suivant la méthode décrite plus haut; nous avons trouvé la position indiquée sur la figure 104, à une distance de la ligne RV égale à seulement 13,55 divisions. A l'aide de l'équation (3) nous avons ensuite déterminé le coefficient X du jaune de chrome, ainsi qu'il suit :

$$(48,58 \times 0,125) + (X \times 0,269) + (7,57 \times 0,606) = 32,4,$$

d'où :

$$X = 80,82.$$

Nous avons alors :

$$6,072 \text{ vert ém.} + 21,74 \text{ jaune chr.} + 4,587 \text{ outr.} = 32,4. \quad (7)$$

Cette dernière équation permet de déterminer la position du jaune de chrome d'après la méthode indiquée plus haut. La figure 104 représente les positions des mêmes couleurs que la figure 103 ; on remarquera que le blanc s'est rapproché de la ligne RV, et que les positions angulaires des couleurs sont notablement changées. Dans ce nouveau diagramme des couleurs, les coefficients des couleurs situées sur des rayons différents sont comparables entre eux, puisqu'ils représentent



Fig. 104. — Diagramme de Maxwell reconstruit par O. Rood, avec des coefficients exacts.

les luminosités des couleurs rapportées à celle du papier blanc, laquelle est représentée par 100.

Nous avons construit un diagramme d'une autre espèce, dans lequel les couleurs sont disposées tout autrement que dans les précédents.

Idée du nouveau diagramme. — Supposons que l'on prenne une certaine quantité de lumière rouge pure, et qu'on la place sur une circonférence de cercle en R (fig. 105), que l'on mène le diamètre RBV, et qu'au point BV on mette une quantité de lumière bleu vert pur juste suffisante pour neutraliser la lumière rouge ou pour former avec elle un mélange qui produise sur l'œil l'effet du blanc. La position du blanc sera alors au centre du cercle, c'est-à-dire en BI. La lumière rouge et la lumière bleu vert dont on s'est servi

seront considérées comme ayant une intensité égale, bien qu'elles puissent être très-différentes sous le rapport de leurs luminosités réelles; en fait, elles auront l'une par rapport à l'autre des pouvoirs saturants égaux. Nous mettons ensuite au point J de la circonférence une certaine quantité de lumière jaune pur; nous menons le diamètre JB (fig. 105), et en B nous plaçons une quantité de lumière bleue juste suffisante pour neutraliser la lumière jaune, en arrangeant les choses de façon que la lumière jaune et la lumière bleue reproduisent par leur mélange un blanc de même luminosité que celui déjà fourni par le mélange de rouge et de bleu vert. Le jaune et le bleu auront des luminosités très différentes; mais, comme ils se neutralisent, nous les considérerons comme ayant la même intensité. *Chacune* des quatre couleurs sera aussi considérée comme ayant la même

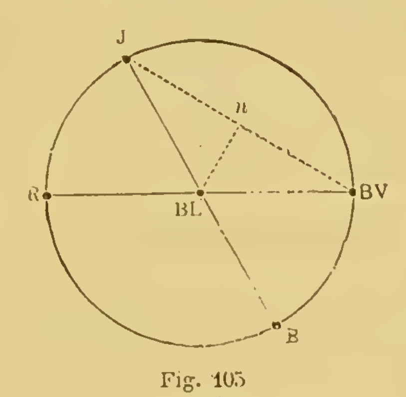


Fig. 105

intensité, dans le sens que nous venons de donner à ce mot; ou bien encore, au lieu de nous servir du mot intensité, nous pouvons dire que chacune des quatre couleurs aura le même pouvoir de saturation. Il en sera de même de toutes les autres couleurs que nous placerons sur la circonférence. Pour exécuter cette idée et pour arriver à assigner aux couleurs des positions angulaires convenables, il faut avoir recours à d'autres considérations. Supposons que nous mélangions ensemble le jaune de J et le bleu vert de BV : en variant convenablement les proportions, nous finirons par obtenir un mélange qui, bien qu'il ne soit pas blanc, sera cependant plus pâle ou plus blanchâtre que tous les autres; c'est là un fait bien connu. Pour la construction pratique du diagramme, nous admettons que ce mélange le plus neutre sera obtenu quand toute la masse du jaune en J sera mélangée avec toute la masse du bleu vert en BV; et il est évident que, quand même cette hypothèse ne serait pas rigoureusement vraie, elle se rapprochera d'autant plus de la vérité que la distance angulaire de R à J sera plus petite. Si la distance angulaire entre R et J est une quantité considérable, l'hypothèse pourra être bien ou mal fondée; nous n'avons jusqu'ici aucun moyen de décider ce point. Nous l'admettrons jusqu'à preuve du contraire, et nous mènerons de *n*, le point le plus neutre, une perpendiculaire à la ligne JBV; cette

perpendiculaire passera par le centre du cercle, c'est-à-dire par la position du blanc. De même lorsqu'un autre point quelconque peu éloigné de R sera joint par une ligne droite à BV : là encore, une perpendiculaire menée du point le plus neutre passera par le blanc.

Réalisation du diagramme. — Pour construire ce diagramme, il faut préparer trois disques colorés qui aient une égale intensité dans le sens indiqué plus haut, c'est-à-dire un pouvoir de saturation égal. Il faut aussi que ces disques aient des couleurs qui par leur mélange optique puissent donner de la lumière blanche. Nous avons choisi le minium, un vert d'herbe et le bleu d'outremer artificiel. Nous avons combiné d'abord le disque vert avec le disque bleu, et une assez longue série d'expériences nous a permis de constater que nous obtenions le mélange le plus neutre en mélangeant optiquement des surfaces égales, d'où nous avons conclu, d'après l'hypothèse fondamentale, que les pouvoirs saturants des deux disques étaient égaux. Après plusieurs tentatives, nous avons réussi à établir une égalité semblable entre le disque vert et un autre disque peint en minium légèrement mêlé de noir. La combinaison de ces trois disques nous a alors fourni l'équation suivante :

$$23{,}06 \text{ minium} + 42{,}16 \text{ vert} + 34{,}76 \text{ bleu} = 22{,}1 \text{ blanc.}$$

Nous avons donné aux trois couleurs l'unité pour coefficient, puisqu'elles ont des pouvoirs saturants égaux. Nous avons traité les aires relatives des couleurs dans l'équation ci-dessus comme si c'étaient des poids, ce qui nous permettait de déterminer les positions des trois couleurs sur la circonférence d'un cercle dont le blanc occupe le centre. Pour cela, nous avons disposé les trois couleurs à des distances telles l'une de l'autre que le système tout entier fût en équilibre; par exemple, si les poids avaient été égaux la distance angulaire des trois points d'application aurait été de 120°. Les distances angulaires convenables une fois trouvées, les positions du minium assombri, du vert d'herbe et du bleu d'outremer étaient déterminées, et ont pu servir à leur tour à trouver les positions d'autres couleurs par le procédé de mélange que nous avons expliqué plus haut (fig. 106). Les point marqués sur ce diagramme indiquent la couleur ou la nuance par la position angulaire, et la saturation ou l'intensité par la distance plus ou moins grande qui les sépare du blanc. Il est facile de déterminer les quantités relatives de lumière blanche que réfléchissent les couleurs situées sur un rayon donné, puisque la distance du centre mesure la quantité de lumière colorée réfléchie, et que la somme de la lumière colorée et de la lumière blanche réfléchie peut être mesurée par le moyen décrit au chapitre III. Cependant nous n'avons encore aucun moyen de généraliser ce procédé et de l'appliquer aux couleurs situées sur des rayons différents, puisqu'il nous est impossible de reconnaître, par exemple, si notre disque jaune type de J réfléchit la même quantité de lumière *blanche* que le

disque rouge type de R; nous savons qu'ils réfléchissent des quantités correspondantes de lumière colorée, mais rien de plus. Avant de pouvoir résoudre ce problème, il faut que nous connaissions la luminosité relative de toutes les couleurs pures (exemptes de lumière blanche) qui, d'après notre construction, tombent sur la circonférence du cercle, et ceci exigerait une étude spéciale des couleurs spectrales par rapport à ce caractère; mais cette étude n'a pas encore été faite.

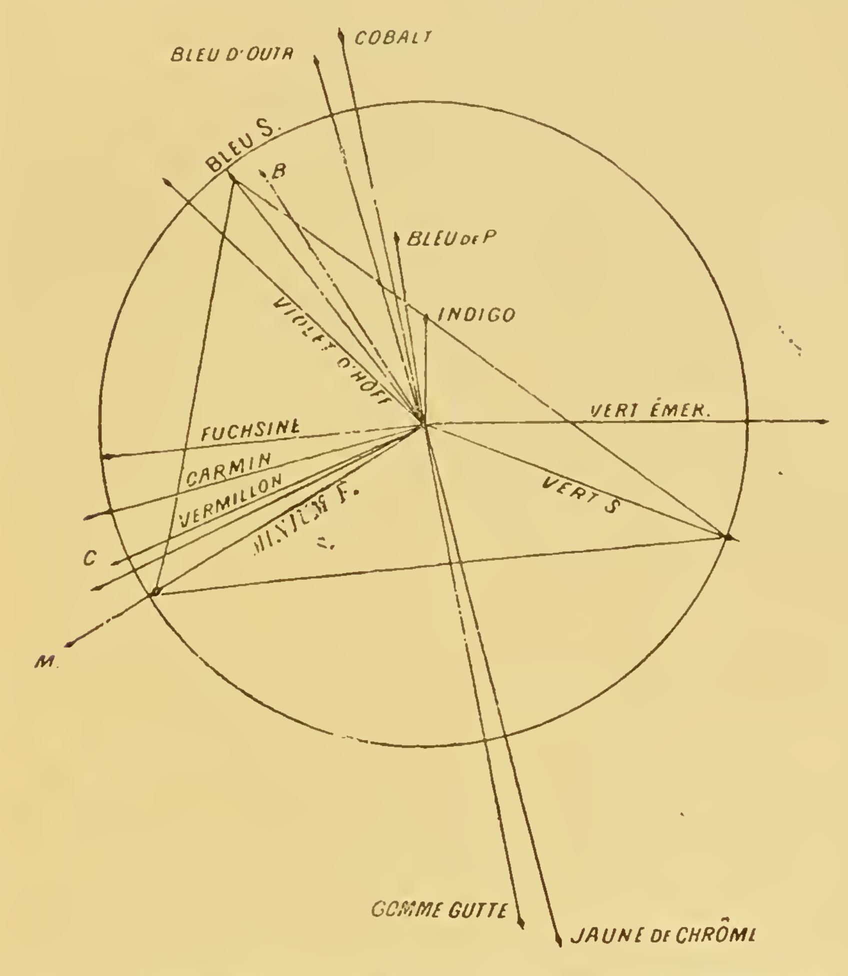


Fig. 106. — Diagramme de saturation d'après Rood. Les trois couleurs qui ont servi à le construire sont marquées de la lettre S.

Nous savons que des quantités égales de jaune et de jaune verdâtre ont des degrés de luminosité plus élevés non seulement que le bleu et le violet, leurs compléments, mais encore que n'importe quelle autre couleur; mais jusqu'ici aucune détermination quantitative n'a été faite à cet égard. La figure 106 nous présente un diagramme de l'espèce que nous venons de décrire, contenant les mêmes couleurs que les précédents : nous le nommerons diagramme de saturation.

CHAPITRE XV

LE CONTRASTE

Nous avons jusqu'ici étudié en détail les changements que subissent les surfaces colorées sous l'influence de divers éclairages, ou lorsque leur aspect est modifié par le mélange d'une quantité plus ou moins grande de lumière soit blanche soit colorée. Mais il est une autre manière, bien différente de toutes celles dont nous avons parlé jusqu'ici, de changer notablement l'aspect que nous présente une surface colorée : on peut modifier réellement une couleur à un point considérable sans agir directement sur elle ; il suffit pour cela de

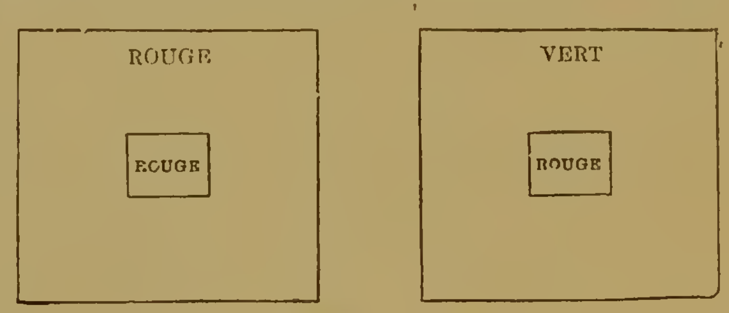


Fig. 107. — Papier rouge et papier vert, chacun avec un petit carré rouge.

changer la couleur qui lui est adjacente. Nous pouvons nous convaincre de ce fait par une expérience fort simple. Si nous découpons dans une feuille de papier rouge deux carrés de trois à quatre centimètres de côté, et que nous posions l'un sur une feuille de papier rouge et l'autre sur une feuille de papier vert. comme l'indique la figure 107, nous verrons que le carré rouge posé sur la feuille rouge paraîtra bien moins brillant et moins saturé que le carré qui se trouve sur un fond vert, et cela au point de nous faire douter que les deux carrés rouges aient réellement la même nuance. Par un procédé à peu près semblable nous pouvons prendre une surface réellement inco-

lore, une surface grise, et la faire paraître rouge, bleue, verte, etc. Ces changements et d'autres du même genre s'obtiennent au moyen de ce qu'on appelle le contraste, et sont dus en partie à des effets réels qui prennent naissance dans l'œil même, et en partie à des incertitudes d'appréciation de la part de l'observateur. La question du contraste est si importante qu'elle mérite que nous examinions avec soin les lois qui le régissent ; et pour cela le lecteur fera bien de répéter quelques-unes des expériences simples que nous allons décrire.

Si nous posons un petit carré de papier vert brillant sur une feuille de papier à dessin gris, comme l'indique la figure 108, et que nous tenions les yeux fixés pendant quelques secondes sur la petite croix marquée au centre du carré vert, nous verrons, en retirant brusquement ce carré, qu'il est remplacé par une image faible de couleur rose (fig. 109). Cette image rose ne tarde pas à s'évanouir, et le

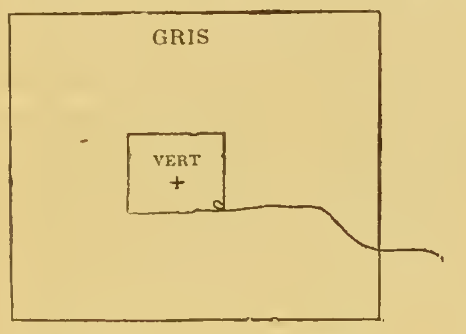


Fig. 108 — Papier gris et petit carré vert.

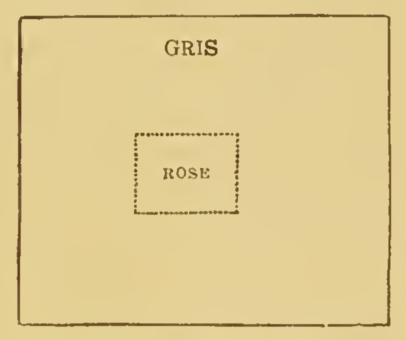


Fig. 109. — Papier gris et image rose.

papier gris reprend son aspect naturel. L'ombre rose qui s'est ainsi produite a une couleur complémentaire de celle qui lui a donné naissance, et le même fait se produira si nous nous servons de petits carrés d'autres couleurs : un carré rouge donnera naissance à une image bleu verdâtre ; un carré bleu, à une image jaune ; un carré violet, à une image jaune verdâtre, et ainsi de suite, la couleur de l'image étant toujours le complément de celle qui lui a donné naissance. Pour cette raison, ces images ont reçu le nom d'images *négatives*, parce que sous le rapport de la couleur elles sont tout l'opposé des images qui se présentent d'abord à l'œil de l'observateur. Dans les anciens traités d'optique, on les désigne souvent aussi sous le nom de « couleurs accidentelles ». La théorie de Young et de Helmholtz rend bien compte de la production de ces images. Prenons

pour exemple l'expérience dont il vient d'être question. D'après notre théorie, la lumière verte réfléchie par le petit carré de papier, en agissant sur l'œil, fatigue jusqu'à un certain point les nerfs verts de la rétine, tandis qu'elle n'agit que faiblement sur ceux du rouge et du violet. Lorsqu'on retire brusquement le papier vert au moyen du fil qui y est attaché, de la lumière grise se présente à la rétine fatiguée, et cette lumière peut être considérée. pour ce qui nous concerne. comme composée de lumière rouge, de lumière verte et de lumière violette. Les nerfs du rouge et du violet, qui ne sont point fatigués, répondent énergiquement à cette stimulation ; au contraire, les nerfs du vert répondent plus faiblement à ce nouvel appel qui leur est fait, et par conséquent nous recevons principalement un mélange des sensations du rouge et du violet, qui donne pour résultat final du rose ou du rouge pourpré. Il va sans dire que les nerfs du vert ne sont pas assez fatigués pour ne pas agir du tout lorsque la lumière grise les frappe ; mais le seul effet de leur action partielle est de donner à l'image rose un aspect un peu pâle ou blanchâtre. La fatigue du nerf optique dont il est question ici ne diffère pas essentiellement de celle qu'il éprouve constamment, même dans les conditions ordinaires, conditions dans lesquelles ses pertes sont constamment réparées par le sang qui circule dans la rétine et par les petits intervalles de repos qui se présentent souvent. Dans l'expérience en question, nous avons seulement borné la fatigue à une catégorie de nerfs, au lieu de la répartir également entre les trois catégories.

Les expériences que nous venons de décrire et l'explication que nous en avons donnée nous permettront de comprendre sans peine le cas plus compliqué où, au lieu de mettre notre petit carré vert sur un papier gris, nous le posons sur une feuille de papier de couleur. Substituons donc au papier gris un papier jaune, sur lequel nous posons le carré vert comme auparavant (fig. 110). Si nous retirons brusquement le carré vert, nous le trouvons remplacé par une ombre orangée (fig. 111). que nous expliquons de la façon suivante : ici encore, les nerfs du vert sont fatigués, et ceux du rouge et du violet sont dans leur état normal ; lorsqu'on retire le petit carré vert, de la lumière jaune se présente à la rétine, et cette lumière jaune, comme nous l'avons expliqué au chapitre IX, tend à agir également sur les nerfs du rouge et sur ceux du vert; mais, dans le cas qui nous occupe, les nerfs du vert ne répondent pas à cet appel avec l'activité normale. de sorte que l'action se borne presque aux nerfs du rouge, et, comme

nous l'avons expliqué au chapitre X, la teinte résultante est nécessairement orangée, c'est-à-dire que nous avons une sensation énergique de rouge mêlée à une sensation faible de vert, ce qui donne pour résultat la sensation appelée orangé. Dans cette expérience, les nerfs du violet ne jouent qu'un rôle très secondaire. Si le carré vert est posé sur un fond bleu, l'image devient violette, par la raison que la lumière bleue qui frappe la rétine fatiguée agit, comme nous l'avons expliqué au chapitre IX, sur les nerfs du vert et du violet ; mais les nerfs du vert étant fatigués, l'action se borne presque entièrement aux nerfs

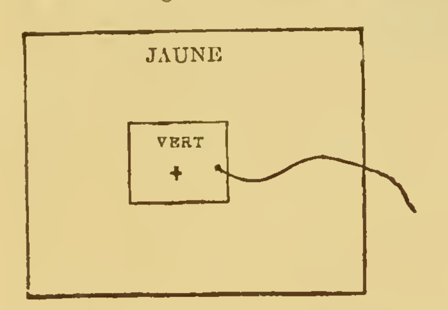


Fig. 110. — Petit carré vert sur fond jaune.

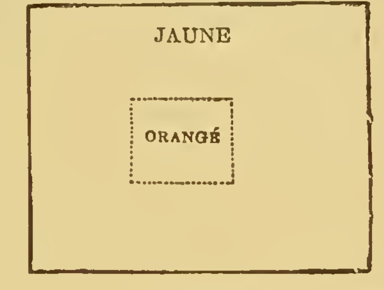


Fig. 111. — Image orangée sur fond jaune.

du violet, d'où résulte la sensation correspondante. Dans ce cas le rôle des nerfs du rouge est presque nul.

De tous les exemples qui précèdent et de ce raisonnement il résulte que nous obtenons en définitive comme image accidentelle quelque chose qui équivaut à un mélange de la couleur *complémentaire* du petit carré avec la couleur du fond ; si nous nous rappelons cette règle nous retiendrons aisément cette classe de faits.

Il y a encore une autre expérience du même genre qui, tout en étant plus simple que celles que nous venons de décrire, ne laisse pas d'être instructive. On met un petit carré de papier noir sur une feuille de papier rouge, et l'on regarde avec attention un petit trait fait sur le bord du carré noir (fig. 112). Si l'on retire brusquement le carré noir, l'observateur voit à sa place une tache plus lumineuse, qui, dans le cas en question, sera naturellement rouge ; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que cette image rouge sera plus intense ou d'une couleur plus saturée que le reste du fond. On dirait qu'on a mêlé du gris à la couleur du reste de la feuille de papier rouge (fig. 113). Il va sans dire que cette expérience réussit avec du papier de n'importe quelle couleur brillante ; en outre, Helmholtz a constaté que l'on peut obtenir les mêmes effets avec les couleurs pures du

spectre du prisme. Voici comment notre théorie peut expliquer ces effets : tandis que nous regardons le bord du carré noir, de la lumière rouge pénètre dans l'œil et fatigue toutes les parties de la rétine que ne protège pas la présence du carré noir ; la capacité de la plus grande partie de la rétine pour recevoir la sensation du rouge en est consi-



Fig. 112. — Petit carré noir sur fond rouge.

dérablement diminuée, tandis que celle de la portion protégée ne subit évidemment aucune diminution. Quand on retire brusquement le carré noir, la portion de la rétine qui n'est point fatiguée se trouve énergiquement impressionnée par la surface rouge, mais l'effet produit sur le reste de la rétine est notablement plus faible. Ceci expli-

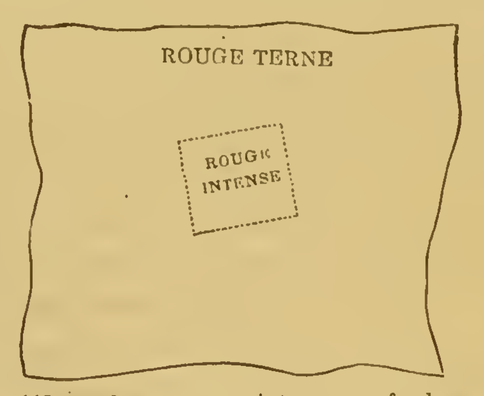


Fig. 113. — Image rouge intense sur fond rouge.

que pourquoi l'image du carré est plus brillante ou plus lumineuse ; et nous comprendrons facilement pourquoi elle est en même temps plus intense ou d'une couleur plus saturée, si nous nous rappelons, comme il a été expliqué au chapitre IX, que la lumière rouge met en action non seulement les nerfs du rouge, mais encore, à un moindre degré, ceux du vert et du violet. Or, comme les nerfs du rouge com-

mencent à se fatiguer, l'action des deux autres catégories sera relativement plus puissante qu'elle ne l'était d'abord, de sorte que peu à peu les sensations du vert et du violet commencent à s'ajouter à celles du rouge (ou, ce qui revient au même, la sensation du blanc se mêle à celle du rouge), et la couleur rouge du papier paraît un peu grisâtre. Le succès de cette expérience avec les couleurs pures du spectre prismatique qui ne contiennent pas de blanc, s'explique facilement de cette manière.

Nous pouvons aller encore plus loin dans cette direction, si, au lieu de nous servir d'un carré noir, nous en prenons un dont la couleur soit complémentaire de celle du fond. Nous substituons donc au carré noir un carré vert émeraude, et nous répétons l'expérience précédente (fig. 114). Le résultat est à peu près le même qu'auparavant, avec

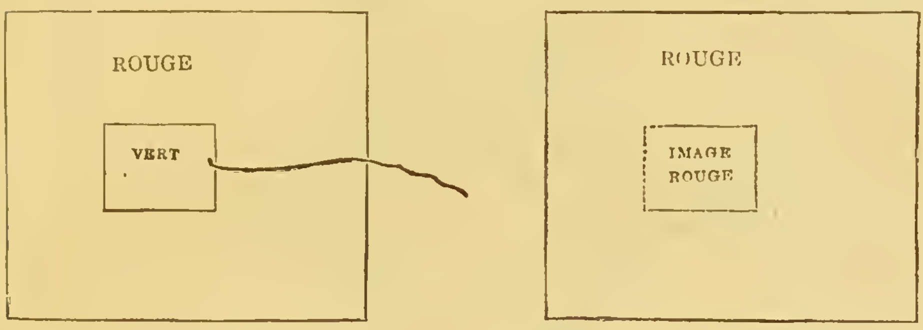


Fig. 114. — Carré vert bleu sur fond rouge.

Fig. 115. — Image rouge intense sur fond rouge.

cette différence que l'ombre rouge est encore plus intense ou d'une couleur plus saturée (fig. 115). En faisant l'expérience de cette façon, nous obtenons deux résultats : d'abord, nous protégeons contre l'action de la lumière rouge une petite portion de la rétine, ce qui la rendra très-sensible plus tard à cette espèce de lumière ; en second lieu, nous fatiguons les nerfs verts et violets de cette portion en leur présentant une lumière vert bleuâtre, de sorte que plus tard la lumière rouge réfléchie par le papier rouge ne pourra plus les stimuler même très-faiblement ; par conséquent, la sensation que nous éprouvons est celle du rouge pur, l'action des nerfs du vert et du violet se trouvant nulle.

Tous ces phénomènes sont des exemples de ce que nous pouvons appeler le contraste successif, parce que nous regardons successivement d'une surface à une autre. Quand on met des surfaces colorées l'une près de l'autre, et qu'on les compare d'une manière naturelle,

le contraste successif joue un rôle important dans la question, et l'apparence des couleurs est plus ou moins modifiée en vertu de ses lois. Si nous voulons borner notre attention à une seule des surfaces colorées, le contraste successif entre encore en jeu, parce que l'œil se porte involontairement sur l'autre surface colorée ; pour résister à cette tendance, il faut beaucoup de pratique et de soin, car la vision fixe est tout à fait contraire à nos habitudes naturelles. Il en résulte que dans la vision naturelle les images négatives, bien qu'elles se présentent dans une certaine mesure, ne sont pas nettes et distinctes,

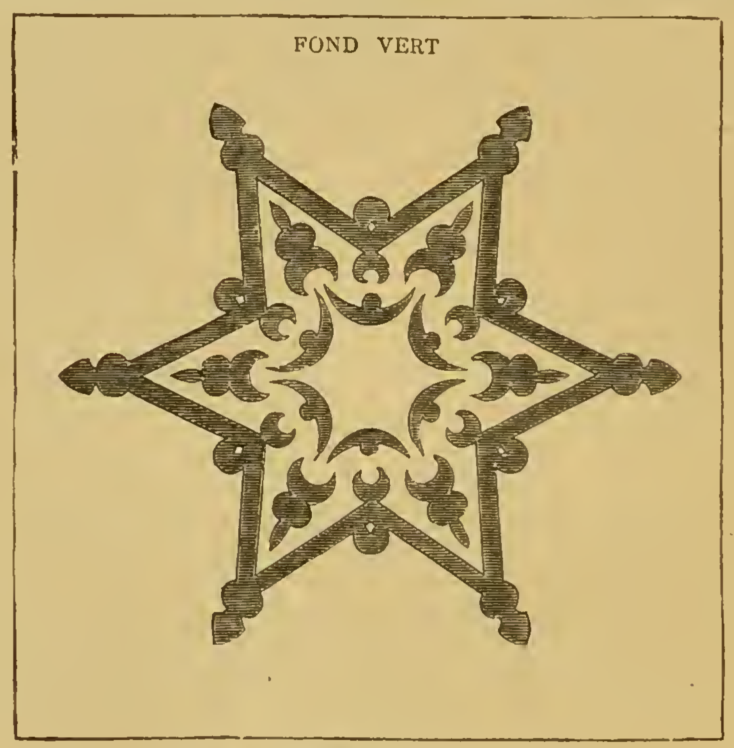


Fig. 116. — Dessin gris sur fond vert.

et par suite échappent ordinairement aux personnes qui n'ont pas l'habitude des observations de ce genre. Malgré cela, ces images modifient considérablement l'aspect des surfaces colorées qui sont contiguës, et il n'est pas besoin d'avoir un œil exercé pour en reconnaître les changements de teinte.

La figure 116 représente un des cas les plus fréquents de ce genre de phénomène. Nous avons un dessin brodé en gris sur fond vert; mais la broderie ne paraîtra pas d'un gris pur, elle semblera teintée d'une couleur complémentaire de celle du fond, c'est-à-dire rougeâtre. Il va sans dire que nous pouvons remplacer le gris par toute

autre couleur brillante, et nous verrons toujours le gris plus ou moins teinté de la nuance complémentaire. Comme le noir n'est en réalité qu'un gris foncé, nous devons nous attendre à ce qu'il prenne aussi jusqu'à un certain point une couleur complémentaire de celle du fond; et c'est là ce qui arrive, bien que l'effet ne soit pas tout à fait aussi marqué qu'avec un gris ordinaire. Dans son grand ouvrage sur le contraste simultané des couleurs, M. Chevreul rapporte une anecdote qui fera bien comprendre la question. Des marchands avaient donné à des fabricants des tissus unis rouges, bleu violet et bleus, en leur demandant de les orner de dessins noirs. En recevant les tissus ainsi ornés, les marchands se plaignirent de ce que les dessins n'étaient pas en noir, et soutinrent que ceux des étoffes rouges étaient verts, ceux des étoffes violettes jaune verdâtre foncé, et ceux des étoffes bleues couleur de cuivre. M. Chevreul recouvrit le fond avec du papier blanc, de manière à ne laisser voir que le dessin, et alors on reconnut que la couleur de celui-ci était réellement noire, et que les effets observés provenaient uniquement du contraste. Pour remédier à cet inconvénient, il faut ne pas se servir de noir pur, mais seulement de noir auquel on a donné une teinte qui se rapproche de celle du fond coloré, en ayant soin de la rendre juste assez forte pour faire équilibre à la teinte produite par le contraste. Si nous remplaçons le dessin noir par un dessin blanc, on observera souvent quelque chose d'analogue à l'effet que nous venons d'indiquer, mais d'une façon moins marquée que pour le gris ou le noir. Dans les cas comme ceux qui nous occupent en ce moment, le contraste est plus fort lorsque la surface colorée est brillante et d'une teinte intense ou saturée. On ajoute encore à l'effet en entourant entièrement la seconde couleur de la première; la couleur enveloppante doit aussi avoir une étendue bien plus considérable que l'autre. Quand on observe ces conditions, l'effet de contraste se produit en général seulement sur la surface la plus petite, tandis que l'autre est à peine affectée.

Au contraire, si les deux surfaces colorées ont à peu près la même étendue, toutes deux se trouvent modifiées. Si l'on veut produire un effet de contraste bien marqué, il faut mettre les surfaces colorées aussi près que possible l'une de l'autre. Nous en trouvons un exemple frappant dans une des méthodes suivies par M. Chevreul pour étudier les lois du contraste. Il juxtaposait deux bandes colorées, comme le montre la figure 117, en ayant soin de placer dans le champ visuel deux bandes des mêmes couleurs à une certaine distance l'une de

l'autre. Les teintes des deux bandes centrales se trouvaient modifiées; celles qui étaient à une certaine distance l'une de l'autre ne subissaient aucun changement. Dans l'expérience que représente la figure 117, le bleu d'outremer central prend par contraste une teinte plus violette, le bleu cyané central devient plus verdâtre; les couleurs des bandes éloignées sont à peine modifiées. Cette expérience nous présente une application de la règle que nous avons donnée plus haut pour déterminer les changements que les couleurs éprouvent par l'influence du contraste. Cette règle est très-simple, mais son application exige la connaissance des couleurs qui sont complémentaires

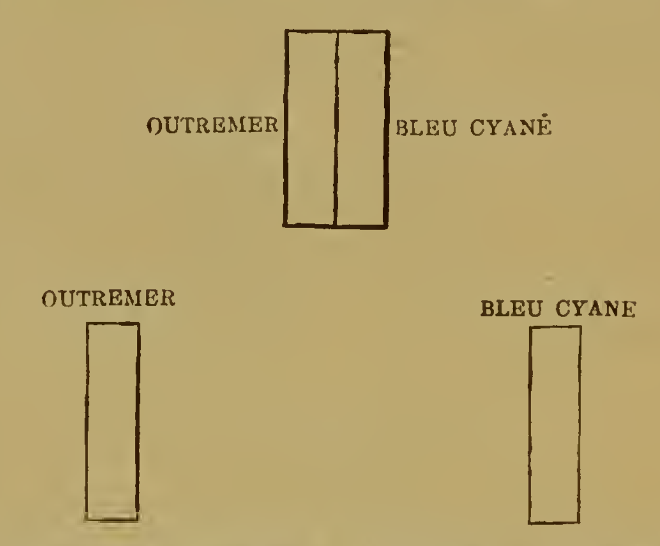


Fig. 117. — Bandes colorées disposées de manière à montrer les effets du contraste simultané (demi-grandeur).

entre elles, et aussi celle des effets qu'on obtient en mélangeant ensemble des faisceaux de lumière colorée. D'après notre règle, lorsque deux surfaces colorées sont juxtaposées, chacune d'elles se trouve modifiée comme si elle avait été mélangée d'une certaine quantité de la couleur complémentaire de l'autre. Dans l'exemple que nous venons de considérer, l'outremer devient d'un bleu plus violet, parce qu'il est mélangé, ou semble l'être, avec la couleur complémentaire du bleu cyané, c'est-à-dire avec de l'orangé. Le bleu cyané semble plus verdâtre, parce qu'il est virtuellement mêlé de jaune verdâtre, qui est la couleur complémentaire de l'outremer. Comme il faut un peu de réflexion pour prédire les changements que le contraste fait éprouver aux couleurs, nous donnons ici un tableau des cas les plus importants :

Couples de couleurs.	Changement dû au contraste.
{ Rouge	devient plus pourpre.
{ Orangé	» jaunâtre.
{ Rouge	» pourpré.
{ Jaune	» verdâtre.
{ Rouge	» brillant.
{ Vert bleu	» brillant.
{ Rouge	» rouge orangé.
{ Bleu	» verdâtre.
{ Rouge	» rouge orangé.
{ Violet	» bleuâtre.
{ Orangé	» rouge orangé.
{ Jaune	» jaune verdâtre.
{ Orangé	» rouge orangé.
{ Vert	» vert bleuâtre.
{ Orangé	» brillant.
{ Bleu cyané	» brillant.
{ Orangé	» jaunâtre.
{ Violet	» bleuâtre.
{ Jaune	» jaune orangé.
{ Vert	» vert bleuâtre.
{ Jaune	» jaune orangé.
{ Bleu cyané	» bleu.
{ Jaune	» brillant.
{ Bleu d'outremer	» brillant.
{ Vert	» vert jaunâtre.
{ Bleu	» pourpré.
{ Vert	» vert jaunâtre.
{ Violet	» pourpré.
{ Jaune verdâtre	» brillant.
{ Violet	» brillant.
{ Bleu	» verdâtre.
{ Violet	» pourpré.

Il est facile et instructif de se servir d'un cercle chromatique (fig. 118) pour étudier les changements produits par voie de contraste, et on verra alors que ces changements suivent une loi très simple : quand deux couleurs quelconques du cercle chromatique sont opposées l'une à l'autre par contraste, l'effet produit est d'accroître en apparence la distance qui les sépare. S'il s'agit, par exemple, de l'orangé et du jaune, l'orangé tend vers le rouge et prend l'aspect d'un orangé rougeâtre ; le jaune se rapproche du vert, et semble pour le moment être devenu jaune verdâtre. Les couleurs complémentaires sont déjà aussi loin que possible l'une de l'autre sur le cercle chromatique ; aussi ne changent-elles pas de teinte, et paraissent-elles seulement plus brillantes et plus saturées. C'est là en effet le résultat naturel de l'application rigoureuse de notre règle : les deux couleurs doivent s'éloigner l'une de l'autre ; or elles sont déjà situées aux extrémités

opposées du même diamètre, et ne peuvent s'éloigner encore qu'en sortant de la circonférence, ce qui équivaut, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, à un accroissement de saturation. Si l'on répète avec soin les expériences indiquées dans le tableau, on verra que tous les couples de couleurs qui y sont indiqués ne sont pas également affectés par le contraste. Le maximum des changements de teinte a lieu pour les couleurs qui sont les plus voisines l'une de l'autre sur le cercle chromatique ; ces changements sont bien moindres pour celles qui sont séparées par une grande distance. Le rouge et le jaune, par exemple, sont fort altérés par le contraste : le rouge devient pourpré et le jaune devient verdâtre ; au contraire, le rouge avec le bleu cyané ou le bleu subit un changement de teinte bien

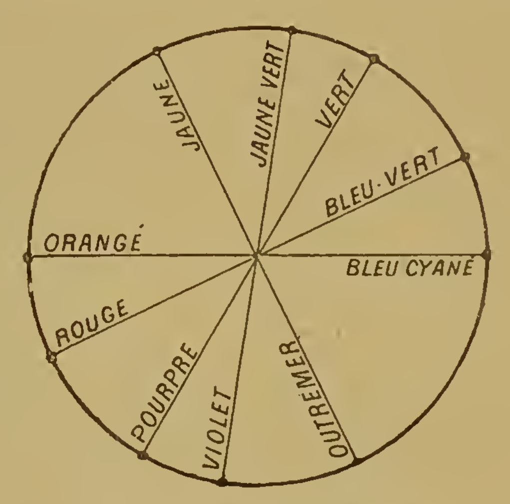


Fig. 118. — Cercle chromatique.

moindre. D'un autre côté, les couleurs qui sont loin l'une de l'autre sur la circonférence chromatique, tout en ne changeant que légèrement de teinte, deviennent en apparence plus brillantes et plus saturées, c'est-à-dire qu'elles sont virtuellement rejetées un peu en dehors de la circonférence, le maximum d'effet étant celui qui correspond aux couleurs complémentaires.

L'effet du contraste sur les couleurs identiques est tout l'opposé de celui qu'il produit sur les couleurs complémentaires ; je veux dire qu'il fait paraître les premières plus ternes et moins saturées. Il y a grand avantage, selon nous, à étudier ces effets de contraste et d'autres encore à l'aide de deux cercles chromatiques identiques décrits sur le papier. Un de ces cercles doit être tracé sur une feuille de papier transparent, qui sera plus tard superposée à l'autre cercle. Prenons un

exemple pour mieux faire comprendre notre manière d'opérer. Supposons qu'il s'agisse de constater à l'aide de ces deux cercles l'effet de contraste produit par le rouge sur toutes les autres couleurs et sur le rouge lui-même. Nous superposons le cercle transparent à l'autre cercle, de manière à faire coïncider les deux figures, puis nous déplaçons un peu le cercle de dessus le long du diamètre qui joint le rouge et le bleu vert, de façon que les deux cercles ne soient plus concentriques. Nous projetons alors sur le cercle inférieur, au moyen d'une piqûre d'épingle, les positions occupées sur le cercle de dessus par le rouge, l'orangé, le jaune, etc., et les trous d'épingle ainsi faits sur le cercle de dessous indiqueront les changements produits sur

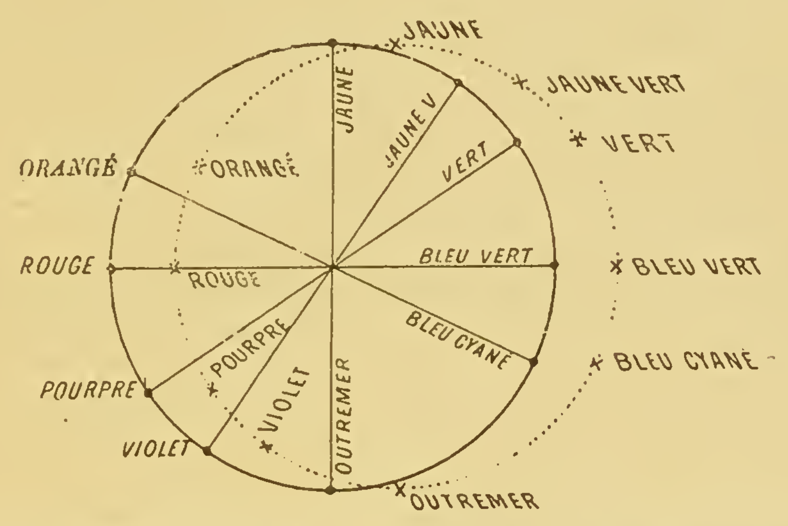


Fig. 119. — Cercle chromatique déplacé par contraste, et indiquant l'effet produit par le rouge sur les autres couleurs.

toutes les couleurs par leur contraste avec le rouge. La figure 119 montre les résultats ainsi obtenus. Les croix marquées sur le cercle pointillé représentent les nouvelles positions des diverses couleurs en contraste avec le rouge. Si nous examinons ces positions, nous verrons que le rouge, lorsqu'on le met en contraste avec le bleu verdâtre, rejette cette dernière couleur plus loin du centre du cercle et en ligne droite ; par conséquent, comme la nouvelle position du bleu verdâtre est sur le même diamètre, mais plus loin du centre, nous savons que cette couleur ne devient ni plus ni moins bleue ou verte, mais paraît simplement plus saturée ou plus brillante. La nouvelle position du rouge est aussi sur le même diamètre qu'auparavant, mais plus près du centre du cercle, ce qui indique que la couleur reste

rouge, mais paraît plus terne ou moins saturée. L'expérience confirme ces résultats théoriques. Par exemple, si l'on examine l'un après l'autre un nombre considérable de morceaux de drap rouge, le dernier paraîtra plus terne que les autres, mais paraîtra toujours rouge.

Passons maintenant aux effets produits sur les autres couleurs : nous voyons que l'orangé s'est avancé vers le jaune, et aussi vers le centre du cercle ; par conséquent, la figure nous avertit que le rouge, contrasté avec l'orangé, fait paraître celui-ci plus jaunâtre, et aussi moins intense. En avançant encore sur la circonférence, la figure nous avertit que le jaune est fort peu modifié sous le rapport de la saturation ou de l'intensité, mais est simplement rendu plus verdâtre. Les deux circonférences se coupent assez près de la position du jaune ; à partir de leur intersection, l'effet change au point de vue de l'intensité ou de la saturation, et le jaune verdâtre est rejeté bien nettement en dehors du cercle primitif, en même temps qu'il se rapproche du vert ; ainsi le contraste avec le rouge fait paraître le jaune verdâtre à la fois plus brillant et plus verdâtre. Le vert est rendu un peu bleuâtre et plus brillant. Nous avons déjà parlé du bleu verdâtre. Le bleu cyané est rendu légèrement plus verdâtre, et en même temps beaucoup plus brillant ; il en est de même du bleu, bien que son accroissement d'éclat par contraste avec le rouge soit un peu moindre que celui du bleu cyané. Le violet est rendu beaucoup plus bleuâtre et moins saturé. Le pourpre devient plus violet, et perd beaucoup de sa saturation. Si nous voulons étudier les effets que produit sur les couleurs du cercle chromatique le contraste avec le jaune, nous n'avons évidemment qu'à déplacer le cercle de dessus le long du diamètre qui joint le jaune à son complément le bleu d'outremer, et à procéder ensuite comme nous venons de le faire. Le déplacement ne doit jamais être considérable, et la meilleure manière est de le déterminer approximativement par la voie expérimentale : il faut faire avancer le cercle de dessus de telle sorte que les couleurs situées de part et d'autre des points d'intersection des circonférences éprouvent dans le diagramme de la figure 118 des changements de *saturation* d'accord avec les résultats de l'expérience.

Il est bien évident que ce diagramme des contrastes ne donnera de résultats exacts qu'autant que les couleurs y seront convenablement arrangées ; si les positions angulaires assignées aux couleurs sont inexactes, l'accroissement et la diminution d'éclat ou de saturation

seront également inexacts. Nous avons fait un grand nombre d'expériences pour décider cette question, et le diagramme de la figure

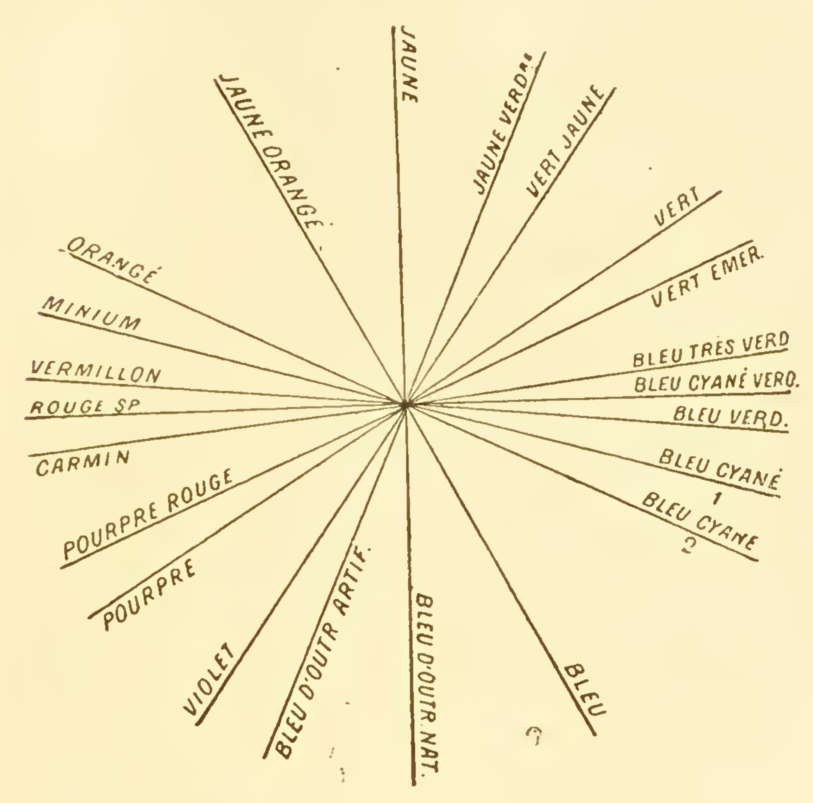


Fig. 120. — Diagramme des contrastes d'après O. Rood.

120 représente les résultats auxquels nous sommes arrivés ; nous donnons encore ces mêmes résultats sous forme de tableau :

TABLEAU DES DISTANCES ANGULAIRES DES COULEURS SUR LE CERCLE DES CONTRASTE DE ROOD.

	Distances angulaires.
Du rouge pur au vermillon	6°
Du vermillon au minium	10
Du minium à l'orangé	9
De l'orangé au jaune orangé	35
Du jaune orangé au jaune	28
Du jaune au jaune verdâtre	23
Du jaune verdâtre au vert jaunâtre	13
Du vert jaunâtre au vert	22
Du vert au vert émeraude	10
Du vert émeraude au bleu très verdâtre ou au complément du carmin	18

Nous avons déterminé avec une certaine exactitude les couleurs des papiers dont nous nous sommes servi dans ces expériences, en les comparant à un spectre normal presque six fois aussi long que celui que donne un seul prisme de flint-glass, et en même temps brillant et pur (voy. le chapitre III). Le tableau suivant indique les positions de ces papiers colorés sur un spectre normal divisé de A à H en 1000 parties égales ; il donne aussi les longueurs d'ondes correspondantes :

Papiers colorés.	Position sur le spectre normal.	Longueur d'onde en $\frac{1}{10000000}$ de mm.
Rouge spectral (vermillon teinté de carmin)	285	6562
Vermillon (anglais)	387	6290
Minium	422	6061
Orangé	448	6000
Jaune (chrome pâle)	488	5820
Jaune verdâtre	535	5649
Vert jaune	552	5587
Vert	600	5411
Vert émeraude	648	5236
Bleu cyané nº 2	715	4991
Outremer naturel	785	4735
Outremer artificiel	857	4472
Violet (violet BB d'Hoffmann)	Un peu plus rougeâtre que le violet du spectre.	

Tout ce qui précède prouve d'une manière générale que l'effet du contraste peut soit nuire à certaines couleurs, soit les favoriser : il peut ou les faire paraître plus belles et plus précieuses, ou leur donner un aspect terne pâle ou même sale. Quand le contraste augmente la saturation apparente d'une couleur, nous avons le premier effet; quand il la diminue, c'est le second. Le diagramme de la figure 119 montre que la saturation diminue lorsque les couleurs qui contrastent sont voisines sur le cercle chromatique, et qu'elle augmente dans le cas contraire. On pourrait croire qu'il est facile de combattre les effets nuisibles de certains contrastes, simplement en rendant les couleurs au début un peu plus brillantes; mais il est loin d'en être ainsi. Le plaisir que cause un contraste favorable ne provient pas simplement de ce que les couleurs semblent brillantes ou saturées; il est dû aussi à ce qu'elles sont arrangées et accompagnées de telle sorte qu'elles présentent *plus* que leur éclat naturel. Alors elles nous paraissent belles et charmantes, même lorsque leurs teintes

réelles sont de celles qui, isolées, seraient appelées faibles ou ternes. C'est ainsi que des tableaux presque entièrement composés de teintes qui semblent par elles-mêmes modestes et rien moins que brillantes, nous paraissent souvent présenter les couleurs les plus vives et les plus splendides; de même, il peut souvent arriver que les couleurs les plus voyantes soient disposées de manière à offrir au spectateur l'aspect de couleurs tout à fait médiocres. Nous verrons plus loin que, dans la combinaison des couleurs de leurs ornements ou de leurs tableaux, les peintres de tous les temps ont nécessairement obéi aux lois du contraste, qu'ils ont pour ainsi dire devinées, tout comme les enfants qui marchent et qui sautent obéissent aux lois de la pesanteur, bien qu'ils n'en soupçonnent pas l'existence.

Les phénomènes de contraste que présentent les couleurs intenses, pures et brillantes, s'expliquent en grande partie par la fatigue des nerfs, comme nous l'avons fait voir au début de ce chapitre. Les changements de couleur et de saturation se remarquent surtout après une observation un peu prolongée, et sont souvent accompagnés d'un reflet doux tout particulier, qui semble flotter au-dessus des surfaces, et qui, lorsqu'il s'agit de couleurs assez éloignées sur le cercle chromatique, leur donne un aspect très brillant. Malgré cela, en général, les effets de contraste sur les couleurs brillantes sont souvent peu marqués au premier coup d'œil, parce que ces couleurs, en vertu de leur intensité et de leur force réelle, peuvent résister à ces changements, et il faut souvent un œil exercé pour les découvrir avec certitude. Il en est tout autrement des couleurs qui sont plus ou moins pâles ou sombres, c'est-à-dire qui manquent de saturation ou de luminosité, ou de ces deux qualités à la fois. Ici, la sensation primitive produite sur l'œil est relativement faible, et par conséquent plus facile à modifier par le contraste. Dans les cas de ce genre, la fatigue des nerfs de la rétine ne joue qu'un rôle très secondaire, car un coup d'œil nous suffit pour reconnaître les effets du contraste. Nous sommes alors en présence du phénomène qui a reçu le nom de contraste simultané, parce que ses effets ont lieu lorsqu'on regarde autant que possible simultanément les deux surfaces. Dans les cas de contraste simultané, les changements sont dns surtout à des incertitudes de jugement de la part de l'observateur; quant à la fatigue des nerfs de la rétine, elle n'intervient que fort peu.

Nous ne portons en nous-mêmes aucun type d'après lequel nous puissions mesurer la saturation d'une couleur ou sa place exacte dans

l'échelle chromatique; par conséquent, si nous n'avons pas sous la main de type *extérieur* certain auquel nous puissions comparer nos couleurs, nous nous tromperons facilement. Nous avons mis une bande de papier d'un bleu vert pâle, mais bien marqué, sur une feuille de papier de la même teinte générale, mais un peu plus foncée et d'une couleur plus intense ou plus saturée. Cette bande nous a semblé alors gris pur, et aucun effort de notre raison ou de notre imagination n'a pu lui faire prendre un autre aspect à nos yeux. Dans cette expérience, il ne se trouvait dans le champ visuel aucun gris pur bien net qui pût servir de terme de comparaison, et au fond la petite bande se rapprochait réellement plus du gris pur que la grande feuille de papier; c'est pour cela que l'œil l'avait immédiatement acceptée comme de couleur grise. Mais nous ne nous en sommes pas tenu là : nous avons introduit sur le même fond vert une bande de papier gris pur; au lieu de servir de type pour corriger notre première erreur, cette bande a aussitôt pris l'aspect d'un gris *rougeâtre*. Le gris pur se rapprochait réellement plus du gris rougeâtre que le fond vert dont il était entouré, et c'est pour cela que l'œil l'acceptait comme ayant cette teinte. La même bande de papier vert bleu pâle, posée sur un fond rougeâtre pâle, a pris une teinte vert bleu plus marquée que lorsqu'elle était sur un fond blanc. Ces deux expériences nous offrent deux cas de contraste simultané : le premier nuit à la couleur, le second lui est favorable. Dans les deux cas, le résultat est d'accord avec celui que le contraste successif aurait produit dans des circonstances semblables.

Nous avons dit plus haut que les effets produits par le contraste simultané sont dus, non à la fatigue de la rétine, mais à une erreur de jugement; or, comme les effets du contraste simultané sont de même nature que ceux du contraste successif, il est évident que cette assertion a besoin d'être prouvée. Pour le faire, nous aurons recours à une expérience assez frappante sur les ombres colorées. Dans cette expérience, nous faisons pénétrer dans une chambre obscure un rayon de lumière blanche qui passe par l'ouverture A pratiquée dans un volet, comme l'indique la figure 121. En B nous disposons une baguette verticale de telle sorte que son ombre aille tomber sur un carton blanc ou sur le mur blanc de la chambre. Evidemment toute la surface du carton sera éclairée par la lumière blanche, sauf les parties sur lesquelles se projette l'ombre n° 1. Nous allumons alors une bougie placée en C (fig. 122); sa lumière tombe aussi sur le

carton et donne l'ombre n° 2, ce qui signifie que la lumière de la bougie éclaire toutes les parties de l'écran, sauf celle qu'occupe l'ombre

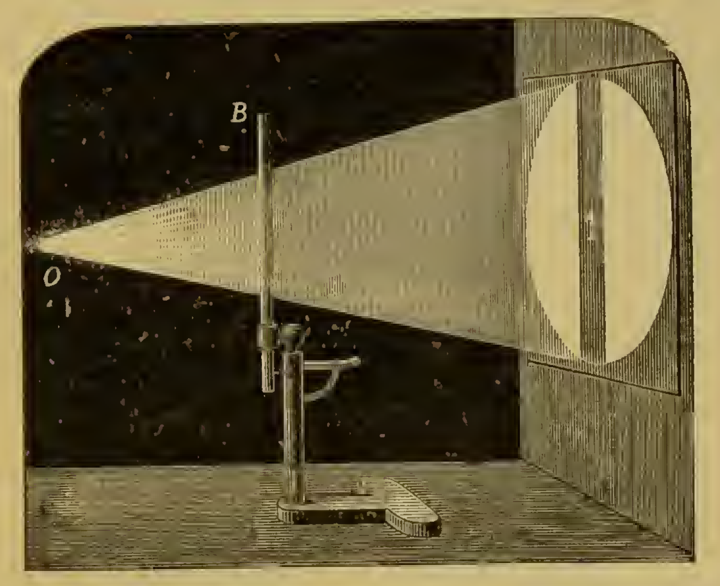


Fig. 121. — Ombre d'une baguette dans une chambre obscure.

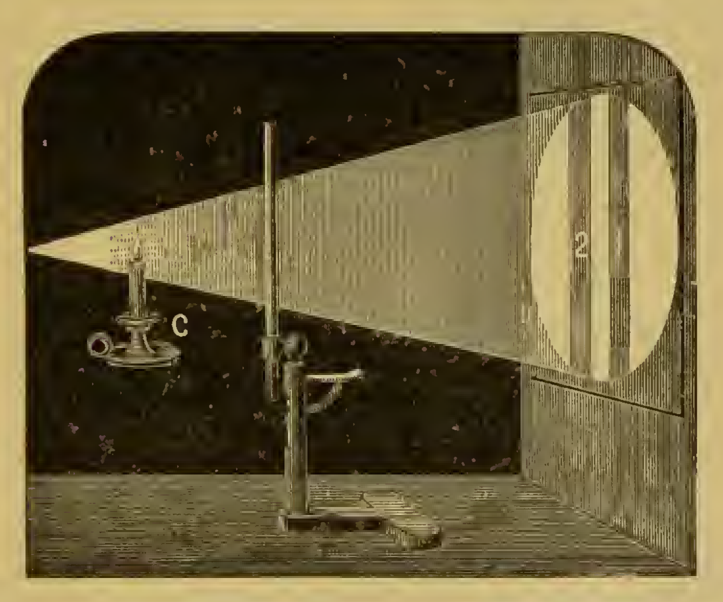


Fig. 122. — Ombres d'une baguette éclairée à la fois par la lumière du jour et celle d'une bougie.

n° 2, qui est elle-même éclairée par la lumière blanche pure. Mais, au lieu de paraître blanche à la vue, l'ombre n° 2 semblera d'une teinte

franchement *bleue*. Pour obtenir l'effet le plus marqué, il est bon que les deux ombres aient la même force ; on y arrive en reglant convenablement les dimensions de l'ouverture qui laisse passer la lumière solaire. Or, bien que l'ombre fournie par la lumière de la bougie soit réellement d'un blanc pur, cependant le contraste avec le fond jaune orangé qui l'entoure la fait paraître franchement bleue. Cette illusion est si forte, qu'elle persiste encore après la cessation des causes qui y ont donné naissance, comme le prouve l'expérience suivante indiquée par Helmholtz : Pendant que les ombres colorées se projettent sur l'écran, regardons-les par un tube de carton noirci à l'intérieur, et tenu de façon que les deux ombres se trouvent à la fois dans le champ visuel ; leur aspect sera alors celui que représente la figure 123. Quand

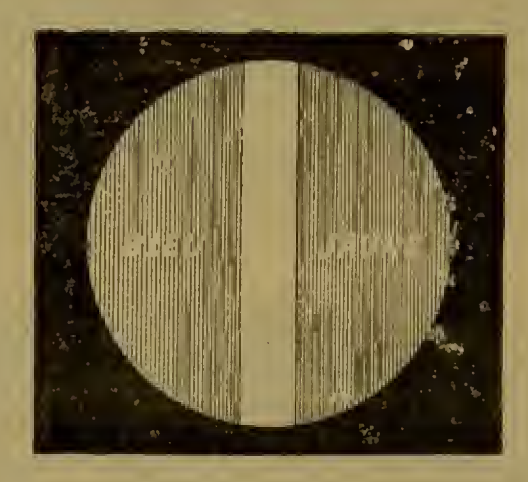


Fig. 123. — Ombre bleue et ombre jaune regardées par un tube de carton noirci intérieurement.

une fois l'ombre bleue a pris toute son intensité, déplaçons le tube vers la gauche, de manière que l'ombre bleue remplisse tout le champ visuel. Si nous maintenons le tube dans sa nouvelle position, l'ombre continuera à paraître bleue au lieu de paraître blanche, quoique la cause déterminante de l'illusion, c'est-à-dire la lumière jaune orangé de la bougie, n'agisse plus sur l'œil. On peut éteindre la bougie, et la surface semblera toujours bleue, tant que l'œil sera appliqué à l'extrémité du tube. Otez le tube, l'illusion se dissipe à l'instant, et l'on voit que la couleur de la portion de surface que l'on regardait est identique à celle du reste de l'écran, dont la blancheur est incontestable. Dans un cas de ce genre, la fatigue des nerfs de la rétine ne joue aucun rôle, puisque l'illusion persiste pendant bien plus de temps

qu'il n'en faut pour dissiper complètement cette fatigue; l'illusion doit donc être attribuée à une erreur de jugement. Pour exprimer ce fait d'après la théorie de Young, nous dirons que la sensation du blanc se produit lorsque les nerfs des trois catégories, ceux du rouge, ceux du vert et ceux du violet, sont stimulés presque au même degré, mais que cependant, comme nous n'avons pas en nous les moyens de juger avec certitude de cette égalité de stimulation, nous pouvons dans certaines circonstances être amenés à prendre une stimulation inégale pour une stimulation égale, ou le contraire. Dans l'expérience des ombres colorées, nous avions sous les yeux dans l'ombre fournie par la flamme de la bougie une stimulation égale que le contraste nous a fait d'abord prendre pour une stimulation inégale, et notre jugement a ensuite persisté obstinément dans son erreur, jusqu'à ce qu'il ait été corrigé de manière à partir d'un point de vue nouveau.

On peut modifier et étendre cette expérience en employant des verres colorés au lieu de la flamme d'une bougie. Pour cela, il faut pratiquer dans le volet deux ouvertures, et recouvrir l'une d'elles d'un verre de couleur à travers lequel on laissera la lumière solaire pénétrer dans la chambre obscure; l'autre laissera passer de la lumière blanche, comme plus haut. Si l'on se sert d'un verre rouge, les ombres paraîtront, l'une rouge et l'autre bleu verdâtre. Dans tous les cas, les ombres prendront des couleurs complémentaires.

On peut encore étudier les effets de contraste simultané au moyen d'un petit appareil que nous devons à Ragona Scina. Deux feuilles de carton blanc sont adaptées à deux planchettes fixées l'une sur l'autre à angle droit, comme l'indique la figure 124. Entre les planchettes, une plaque de verre V de couleur un peu foncée doit être maintenue comme l'indique la figure, de manière à faire avec les deux cartons un angle d'environ 45°. Un œil placé en O recevra deux faisceaux de lumière : d'abord le carton vertical enverra de la lumière blanche qui, après s'être réfléchie sur la plaque V, viendra frapper l'œil. Cette lumière sera, sinon tout à fait, du moins presque entièrement blanche, même après s'être réfléchie sur la plaque de verre, parce que sur un verre de couleur foncée la réflexion se fait presque entièrement à la surface supérieure, ou plutôt à la surface qui est tournée vers la lumière. Le second faisceau lumineux partira de la plaque horizontale H : d'abord blanc, ce faisceau rencontre en chemin la plaque de verre, la traverse et devient coloré par absorption. Si la plaque de verre est rouge, le second faisceau arrivera à l'œil avec la même cou-

leur; par conséquent, comme premier résultat, l'œil reçoit un mélange de lumière rouge et de lumière blanche, qui fera penser à l'observateur qu'il regarde une surface horizontale et carrée d'une teinte rougeâtre assez pâle. Si maintenant nous fixons au point N du carton vertical un petit carré de papier noir, il est évident que cette partie du carton ne pourra pas envoyer de lumière blanche à l'œil, et que l'image de ce point semblera à l'observateur se trouver au point *n* du carton horizontal. Dans des circonstances ordinaires, cette image paraîtrait noire; mais, dans le cas qui nous occupe, elle paraît rouge sombre, à cause de la lumière rouge transmise par la plaque de verre.

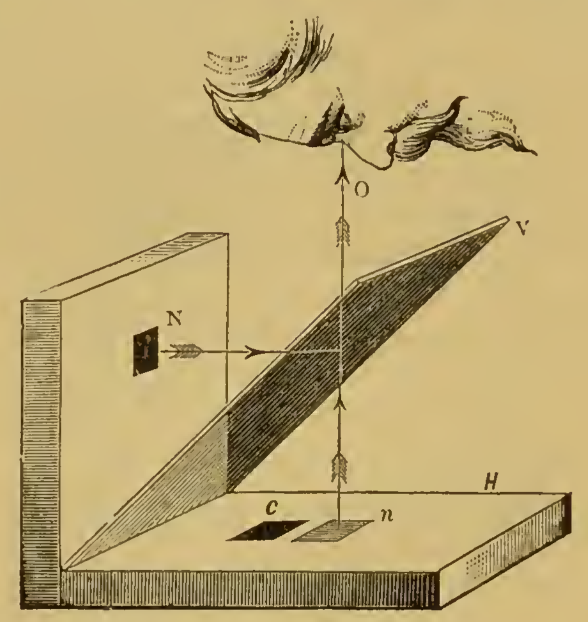


Fig. 124. — Appareil de Ragona Scina.

Jusqu'ici, l'emploi de cet appareil a pour résultat de présenter à l'œil un mélange de lumière rouge et de lumière blanche, cette dernière manquant en un certain point qui paraît nécessairement d'un rouge plus foncé. Nous mettons maintenant au point *c* du carton horizontal un petit carré de papier noir égal au carré N; il empêche nécessairement la lumière de la portion de surface qu'il recouvre d'arriver soit au verre rouge soit à l'œil, et dans des circonstances ordinaires il présenterait simplement l'aspect d'un petit carré noir. Mais, comme la surface supérieure de la plaque de verre renvoie à l'œil de la lumière blanche, il fait réellement l'effet d'un carré gris. En définitive, nous offrons à l'œil situé en O le tableau que représente la figure 125; c'est-à-dire que sur un fond rouge pâle nous avons un carré gris pur,

et près de là un autre carré rouge foncé. Mais, grâce au contraste, l'apparence est différente : au lieu d'un carré gris, nous en voyons un bleu vert bien marqué (fig. 126). Cet effet est dû en partie au contraste avec le rouge pâle du fond, mais encore plus à la présence du carré rouge foncé. Nous pouvons faire disparaître ce dernier en supprimant

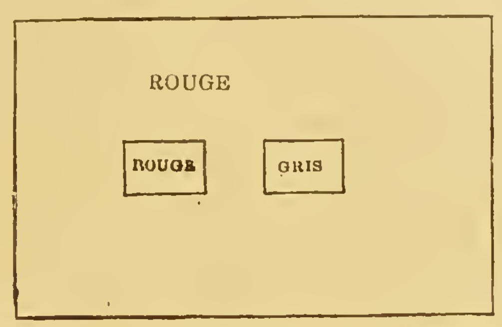


Fig. 125. — Couleurs qui sont réellement présentées à l'œil dans l'expérience de Ragona Sciua.

le carré noir B, ce qui diminue beaucoup l'effet. Mais voici la partie la plus curieuse de cette expérience : si nous choisissons un carré de papier gris de même couleur que le carré gris que l'on voit dans l'appareil disposé comme le représente la figure 124 (à part les effets de contraste), et que nous le mettions au-dessus de la plaque de verre

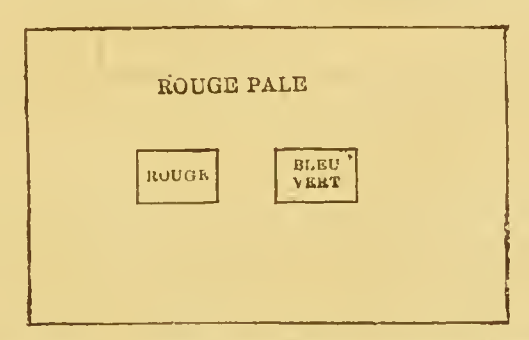


Fig. 126. — Couleurs qui semblent présentées à l'œil.

et près des deux autres images, la couleur de ce carré ne sera que peu modifiée ou même ne le sera point du tout.

En fait, nous avons maintenant, côte à côte, sur le même fond, deux carrés gris de couleurs réellement identiques; mais l'effet du contraste fait paraître l'un vert bleu, tandis que l'autre est vu sans modification, comme étant simplement un carré de papier gris. Mais, dès que l'observateur reconnaît que ces deux carrés ont réellement la même couleur grise, l'illusion s'évanouit à l'instant, et tous deux

restent obstinément gris. Il est évident que dans ce cas, comme dans celui des ombres colorées, c'est le jugement qui est en défaut plutôt que les nerfs de la rétine; car, dès que l'occasion s'en présente, le jugement corrige son appréciation et adopte un nouveau point de vue. Dans ce cas comme dans celui des ombres colorées, l'illusion se produit tout à fait à l'insu de l'observateur, et quand même celui-ci serait un physicien exercé, bien au courant de la question et connaissant tous les détails de l'artifice dont on se sert pour produire l'illusion, il pourrait cependant se trouver hors d'état d'y échapper.

Les expériences simples de M. H. Mayer sont moins difficiles à faire que celles que nous venons de décrire, sans être pour cela moins instructives. Posons une petite bande de papier gris sur une feuille de papier vert, comme l'indique la figure 127; c'est à peine si



Fig. 127. — Papier gris sur fond vert (grandeur réduite au quart).

la teinte du papier gris semblera changée, à moins que nous ne tenions les yeux fixés pendant un certain temps sur l'ensemble des deux papiers. Recouvrons maintenant le tout d'une feuille de papier blanc mince et à demi transparent; nous verrons aussitôt que le contraste change la couleur du petit carré gris en rouge pâle. Ceux qui voient pour la première fois cette illusion en sont toujours fort étonnés. Cette expérience prouve que le contraste produit par des teintes fortes et saturées est bien plus faible que celui de teintes pâles ou mélangées d'une grande quantité de lumière blanche; en effet, la superposition du papier transparent sur la feuille verte a pour résultat d'affaiblir extrêmement la couleur de celle-ci, et de la mélanger d'une grande quantité de lumière blanche. Dans cette expérience, on voit souvent le rouge, qui est dû uniquement au contraste, sembler plus intense que le fond vert lui-même. Si au carré de papier gris on en

substitue un de papier noir, le contraste devient moins marqué, et il l'est moins encore avec un carré de papier blanc. J'ai à peine besoin d'ajouter que, si l'on se sert de papier rouge, le petit carré gris prend par contraste la couleur complémentaire, c'est-à-dire qu'il devient bleu verdâtre; il en est de même pour les autres couleurs.

En préparant à l'encre de Chine une série graduée de bandes grises allant du blanc pur au noir, on peut faire des observations intéressantes sur les conditions les plus favorables à la production des couleurs par voie de contraste. Les contrastes les plus marqués ont lieu pour le rouge, l'orangé et le jaune, lorsque la bande grise est un peu plus foncée que la couleur sur laquelle elle est placée, tandis que le contraire a lieu pour le vert, le bleu, le violet et le pourpre; dans tous les cas, le contraste est moins fort si la bande grise est beaucoup plus claire ou beaucoup plus foncée que le fond. Nous devons par conséquent nous attendre à trouver, en peinture, que le gris neutre est plus altéré par les teintes pâles du rouge, de l'orangé ou du jaune, qui sont un peu plus claires que le gris, et que celui-ci est moins altéré par ces couleurs lorsqu'il y a entre eux une grande différence de luminosité. Nous pouvons aussi tirer de ce qui précède une conclusion analogue pour le vert, le bleu, le violet et le pourpre : ces couleurs doivent être plus foncées que la bande grise. Dans un tableau, les couleurs saturées ou intenses produisent moins d'effet sur le blanc ou le gris que celles qui sont pâles, comme on l'a vu dans l'expérience du début, où nous avons mis du gris sur un fond de couleur intense. En répétant ces expériences, on remarquera que les effets de contraste sont plus marqués pour le vert, le bleu et le violet que pour le rouge, l'orangé ou le jaune, c'est-à-dire pour les couleurs froides que pour les couleurs chaudes. Si maintenant nous faisons l'expérience en sens inverse, et qu'après avoir mis une petite bande de papier coloré sur un fond gris nous recouvrions le tout d'un papier blanc transparent, nous pourrons difficilement constater quelque effet de contraste, même avec une bande verte. Cependant, avec une bande de cette couleur, on s'imagine quelquefois que la feuille blanche prend un instant une nuance très faible de rose ou de pourpre; mais cet effet est très douteux. C'est encore là une preuve nouvelle de la loi qui veut que pour produire des effets de contraste bien marqués la couleur agissante ait une surface bien plus étendue que la couleur influencée; la première doit aussi, autant que possible, entourer la seconde. Toutefois il y a une limite qu'il convient de ne pas dépasser.

Si la plus petite des deux surfaces devient trop minime, elle est exposée à se noyer, pour ainsi dire, dans la surface colorée la plus considérable, et dans ce cas nous avons, au lieu d'un effet de contraste, celui que produit le mélange des deux couleurs dans l'œil de l'observateur ; et c'est là en réalité une des méthodes qu'emploient les peintres pour mélanger leurs couleurs.

Mais laissons là le contraste entre les couleurs pâles et le gris pur, et arrêtons-nous un instant à considérer celui des couleurs pâles entre elles. Nous avons déjà exposé en détail, au commencement de ce chapitre, les lois qui régissent ce genre de contraste, et donné une construction qui permet au lecteur d'étudier les différences de teinte et de saturation qu'il détermine. Nous ajouterons maintenant que, si l'on juxtapose des teintes pâles, les phénomènes produits sont ceux du contraste simultané, et les nerfs de la rétine n'éprouvent pour ainsi dire aucune fatigue ; par conséquent, les effets obtenus sont dus à des erreurs de jugement et se produisent instantanément. Ils sont plus marqués et beaucoup plus surprenants que pour les couleurs intenses ou saturées. Ces effets seront encore accrus si les couleurs ainsi opposées l'une à l'autre ont à peu près le même degré de luminosité, ou diffèrent entre elles sous ce rapport comme les couleurs du spectre, c'est-à-dire si les couleurs chaudes sont choisies de manière à être un peu plus lumineuses que les couleurs froides. Le lecteur trouvera au chapitre III un tableau indiquant la luminosité relative des diverses couleurs du spectre, et, ce qui répond encore mieux à la question, un autre tableau donnant la luminosité relative des divers éléments de la lumière blanche.

Examinons maintenant les effets que donne le contraste de couleurs qui diffèrent entre elles sous le rapport de la luminosité ou de la saturation. Si les deux couleurs sont identiques, excepté sous le rapport de la saturation, on verra que la plus saturée gagne en intensité, tandis que sa pâle rivale paraît plus pâle encore. Une bande de papier peinte en rouge un peu pâle, posée sur un fond vermillon, paraîtra encore plus pâle, et pourra même arriver à sembler blanche. Si l'on prend une bande rouge *plus pâle encore*, elle pourra même sembler d'un bleu verdâtre, de sorte que sa couleur est absolument renversée par l'effet du contraste. Les deux cercles chromatiques mobiles que représente la figure 119 vont nous permettre d'expliquer théoriquement ces changements. Comme une couleur pâle, ou mélangée d'une grande quantité de blanc, se trouve déjà près du centre

du cercle supérieur [1], un faible déplacement la transporte au centre même, c'est-à-dire la fait paraître blanche ; il peut même la transporter au delà du centre, et lui faire prendre l'aspect de la couleur complémentaire. Avec des couleurs de luminosité différente, on observe des effets analogues. Mettons, par exemple, une bande de papier d'un rouge terne sur un fond vermillon : on dirait qu'on a ajouté à la bande une quantité considérable de gris ; elle devient plus sombre et presque noirâtre. Une autre bande encore plus foncée et contenant moins de rouge, posée sur le même fond, semble teintée de vert olive ; une autre plus foncée, et avec moins de rouge encore, traitée de même, semble d'un noir teinté de bleu ; cependant cette dernière bande, posée sur un fond blanc ou comparée avec du noir véritable, est évidemment loin d'être noire. Ainsi le résultat général auquel on arrive en opposant entre elles des couleurs de force notablement inégale, est soit de faire paraître la plus faible plus blanchâtre ou grisâtre, soit de lui donner la teinte complémentaire ; de son côté, la plus forte semble devenir encore plus intense. Si les deux couleurs d'inégale force sont complémentaires, alors chacune d'elles gagne en intensité et paraît plus pure, le gain le plus considérable étant du côté de la couleur la plus faible. De là il suit que, si la juxtaposition de couleurs fortes et de couleurs faibles nuit ordinairement à celles-ci ou les altère beaucoup, cependant les couleurs complémentaires présentent une exception qui s'explique d'elle-même.

Lorsque les couleurs pâles ou foncées ne sont pas les compléments de leurs rivales plus intenses ou plus brillantes, elles subissent les changements qu'indique le tableau de la page 211, changements qui sont bien plus marqués pour les couleurs ternes ou pâles. Plus les couleurs sont situées loin l'une de l'autre sur le cercle chromatique, plus elles gagnent en saturation et en beauté ; au contraire, quand elles se rapprochent, elles changent de caractère, pâlissent, ou, si elles sont foncées, prennent un aspect noirâtre ou sale. Cela arrive surtout lorsque la couleur brillante offre une surface assez grande et entoure la couleur plus sombre ; si l'on renverse ces conditions, l'effet est moins marqué. Par exemple, un rouge un peu terne mis auprès du vermillon ne paraît plus rouge, mais brun ; une teinte orangée terne sur le même fond offre l'aspect d'un brun jaunâtre.

On pourrait conclure de ce qui précède que les couleurs ne peuvent

1. Voyez le chapitre XIV.

se rehausser entre elles par contraste qu'à condition d'être séparées par un intervalle considérable sur le cercle chromatique; et c'est vrai en effet à un point de vue purement physiologique. Mais il faut tenir compte d'autres influences d'un caractère plus intellectuel, qui modifient et quelquefois même renversent cette loi inférieure. Par exemple, la présence dans un tableau d'une couleur plus pâle près d'une autre plus vive passe souvent inaperçue, et produit simplement l'impression d'une lumière plus vive. Nous reconnaissons la représentation d'un flot de lumière, et nous l'admirons, sans trouver à redire aux teintes pâles, pourvu qu'elles soient employées d'une manière habile et décidée. Une couleur pâle peut encore représenter le lointain dans un paysage; il ne nous vient jamais à l'idée d'établir de comparaison jalouse entre les gris verdâtres ou bleuâtres pâles et les faibles teintes pourprées qui composent les arrière-plans, d'une part, et les vives couleurs intenses du premier plan, de l'autre; mais nous jouissons séparément de chaque catégorie de couleurs, et nous prenons plaisir à voir les effets d'atmosphère et de lointain que ni l'une ni l'autre ne pourrait rendre seule d'une manière satisfaisante. Cela signifie que l'amour de la lumière et de l'atmosphère ou du lointain nous fait sacrifier sans peine une grande partie des teintes vives dont nous disposons, et croire que nous y gagnons encore. Le même fait est encore vrai sous un autre rapport : nous sommes toujours prêts à faire le même sacrifice pour éviter la monotonie et arriver à la variété, pourvu que nous ayons une bonne raison à alléguer pour nous justifier. Ce cas se présente souvent dans la représentation des grandes masses de feuillage : si l'on donne à ces masses la même couleur générale, elles paraissent monotones et ternes dans un tableau, à moins qu'on n'arrive à force de travail à rendre les lumières et les ombres, avec toutes les petites différences de teintes qui existent en réalité dans la nature. En pareil cas, celui qui regarde le tableau aime à y trouver quelques parties de feuillage d'une couleur notablement plus pâle que celle des masses environnantes, pourvu qu'il existe un motif plausible pour les y introduire. Des saules agités par le vent, et montrant le dessous de leurs feuilles, d'une teinte vert pâle, nous offrent un exemple familier de cette manière de varier les effets. D'un autre côté, le simple contraste des teintes sombres ou ternes suffit pour rehausser la couleur et la luminosité de celles qui sont brillantes, et celui qui regarde le tableau s'imagine voir des couleurs vives et belles, sans presque tenir compte de la présence des teintes bien plus

abondantes qui sont assombries, parce qu'elles sont tout à fait dans l'ombre. Ces teintes assombries pour marquer l'ombre ne sont pas ordinairement des nuances de la même couleur que les teintes brillantes, mais elles sont plus bleuâtres ; ainsi, au point de vue technique, ces combinaisons nous offriraient souvent des cas de contraste défavorable, si les teintes brillantes et les teintes ternes n'appartenaient pas, je ne dis pas seulement à des cercles chromatiques différents, mais même à des plans différents, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent. Pour exprimer ce fait en langage ordinaire, nous dirions simplement que la vivacité du contraste entre la lumière et l'ombre masque les effets de contraste défavorable qui existent dans le tableau. Mais il est un autre cas où nous ne sommes ni si indifférents ni si indulgents. Lorsque deux objets sont voisins dans un tableau, et qu'il y a de bonnes raisons pour que tous deux présentent la même couleur avec une intensité égale, s'ils ne le font pas, alors le plus pâle des deux paraîtra effacé ou sale, et l'effet produit sera désagréable. Comme exemple familier de ce genre d'effet, nous pouvons citer le cas où dans la même toilette on voit figurer deux rubans de la même teinte générale, mais de nuances assez éloignées.

Il existe une autre raison encore plus générale dont dépend le plaisir que le contraste nous fait éprouver. Après avoir contemplé de grandes surfaces couvertes de nombreuses variétés de couleurs chaudes habilement fondues ensemble, nous éprouvons un plaisir particulier à rencontrer quelques teintes légèrement opposées ; elles nous préservent de la satiété que produirait sans cela l'opulence des couleurs prodiguées à nos yeux, et leur opposition, qui n'a rien de dur, nous fait doublement jouir de l'harmonie et de la richesse du reste du tableau. De même aussi, lorsqu'un tableau est surtout composé de teintes fraîches et bleuâtres, quelques touches d'une couleur chaude lui donnent une vigueur et un éclat extraordinaires. Le même principe s'applique encore aux simples dessins au crayon, dans lesquels il n'entre aucune couleur : si le dessin se compose principalement de lignes doucement ondulées, quelques lignes droites qui les coupent obliquement paraitront charmantes ; ou, s'il nous est permis de chercher une comparaison dans un art différent, lorsque dans un discours dont le ton général est grave l'orateur introduit quelques traits légèrement plaisants, il est bien rare qu'il ne charme pas l'auditoire, dont il réveille ainsi l'attention. Si les teintes brillantes et les teintes sombres sont à peu près en proportions égales, l'effet pro-

duit est moins bon, et il devient tout à fait mauvais lorsque le tableau se partage en un certain nombre de groupes dans chacun desquels les couleurs vives et les couleurs pâles ou sombres ont été réparties d'une main impartiale.

Avant de terminer ce chapitre, nous devons ajouter quelques mots sur le simple contraste de la lumière et de l'ombre, c'est-à-dire celui dont les seuls éléments sont le blanc, le noir et les nuances de gris intermédiaires. Comme on doit le penser d'après ce qui a été dit plus haut, lorsqu'un gris clair se trouve placé auprès d'un gris plus foncé, la nuance claire semble plus claire encore, et la nuance foncée paraît plus sombre. Ce fait est très-facile à démontrer au moyen des disques tournants, qui nous ont déjà rendu tant de services. Prenons un disque blanc et noir, tel que le représente la figure 128. Lorsqu'on fait



Fig. 128. — Expérience de contraste avec un disque noir et blanc.



Fig. 129. — Résultat de la rotation rapide du disque de la figure 128.

tourner ce disque, le mélange du blanc et du noir produit une série d'anneaux gris de plus en plus foncés à mesure qu'on se rapproche du centre. Chaque anneau a en réalité une teinte grise absolument uniforme, et cependant l'observateur n'en jugera pas ainsi. Les différents anneaux lui feront l'effet d'être nuancés, la nuance la plus claire se trouvant toujours en dedans, c'est-à-dire tournée vers le centre, comme le représente imparfaitement la figure 129. Sur la ligne qui sépare un anneau donné d'un autre plus clair, le premier paraît plus foncé; sur celle qui le sépare d'un autre plus foncé, il paraîtra plus clair. On obtiendra le même effet en peignant des bandes de papier de différentes teintes plates grises, et en les disposant ensuite de manière à imiter l'expérience du disque : elles présenteront un aspect semblable à celui qu'indique la figure 130. Il est à peine nécessaire d'ajouter que dans les dessins qui représentent des contrastes entre

l'ombre et la lumière, de même que dans la nature, des effets de ce genre, plus ou moins modifiés, se présentent sans cesse. Un des exemples les plus ordinaires de ce phénomène est celui de plusieurs chaînes de montagnes s'élevant en étages l'une derrière l'autre : les parties inférieures des chaînes les plus éloignées semblent toujours plus claires que leurs contours supérieurs. Lorsqu'il pleut, des chaînes de collines présentent souvent cet aspect avec une netteté étonnante. Même quand les teintes claires et les teintes sombres sont fort éloignées les unes des autres, les phénomènes de contraste se produisent s'il existe une différence considérable entre les nuances des deux séries d'ombres. Tous ceux qui ont manié le crayon savent que dans un dessin de paysage le ciel paraît toujours trop pâle lorsque le reste

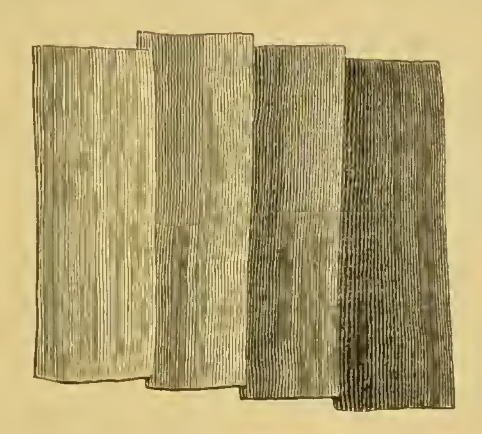


Fig. 130. — Bandes grises que le contraste fait paraître de plus en plus omb ées.

est achevé. Comparé au papier blanc de l'esquisse inachevée, le ciel pourra sembler d'une teinte correcte; mais, une fois que les tons plus foncés des arrière-plans et du premier plan ont été ajoutés, il paraît souvent tout à fait insuffisant. Réciproquement, quelques coups de crayon bien noirs dans un dessin suffisent souvent pour éclaircir par contraste des parties qui semblaient d'abord beaucoup trop sombres; ou encore quelques traits blancs peuvent rendre foncés des espaces qui paraissaient pâles et faibles. Dans l'un et l'autre cas, les objets extérieurs fournissent à l'observateur pour mesurer la nuance de l'ombre des termes de comparaison dont il doit se servir plutôt que de se fier à sa mémoire. Un habile emploi du contraste peut faire paraître lumineux et brillants, colorés et intenses de simples dessins au crayon où l'ombre et la lumière sont seuls marqués; si au contraire on néglige cet élément, les dessins paraissent plats et sans vi-

gueur. Le contraste entre les nuances claires et les nuances foncées ne le cède en rien au point de vue de la puissance à celui entre les couleurs chaudes et les couleurs froides, et en réalité le contraste entre le blanc et le noir est, après tout, le contraste le plus marqué qui puisse exister. D'une part, en effet, nous avons la présence de toutes les couleurs, et de l'autre leur absence totale; aussi, comme nous l'avons déjà fait observer, le contraste qui a lieu entre la lumière et l'ombre peut-il quelquefois masquer ou même renverser les effets du contraste entre des couleurs différentes. Nous sommes peut-être plus disposés à supporter un défaut dans le contraste entre les couleurs que dans celui entre la lumière et l'ombre, et, si ce dernier est juste et puissant, nous pardonnons une petite infériorité dans le premier, et nous nous contentons de dire qu'un tableau est un peu pâle ou vaporeux, sans le condamner entièrement pour cela. Au contraire, si les couleurs sont justes en elles-mêmes, mais que le ton général des différentes teintes soit défectueux, alors l'ensemble est gâté, et nous regardons sans aucun plaisir des couleurs qui, prises isolément, sont cependant belles. Ainsi nous pardonnons plus facilement une faute partielle contre les règles du coloris qu'un manquement aux règles de la lumière et de l'ombre, et cette indulgence est sans doute le résultat de l'éducation optique de la race. Jusqu'ici, en effet, la lumière et l'ombre ont été pour la race humaine l'élément le plus important pour reconnaître les objets extérieurs; au contraire, la couleur n'a joué dans cette reconnaissance qu'un rôle secondaire, et a été plutôt une source de plaisir qu'un élément indispensable.

Tout ce que nous avons dit des contrastes entre le blanc, le noir et le gris peut, avec de très légères modifications, s'appliquer à une couleur quelconque prise isolément; par exemple, aux dessins faits avec une seule couleur, telle que le bleu ou le brun. De là il suit que chaque couleur peut présenter deux sortes de contraste : celui qui résulte de son opposition à d'autres couleurs, et celui qui vient de la lumière et de l'ombre.

Il nous reste à parler du contraste entre le blanc, le noir et le gris, d'une part, et toute la série des couleurs proprement dites, de l'autre. Si nous prenons ces dernières dans leur ordre naturel, nous voyons que le rouge, mis sur un fond blanc, paraît plus foncé et un peu plus intense; sur un fond noir, il prend une légère teinte rouge orangé, et paraît naturellement plus lumineux. Ces deux effets sont probablement dus en dernier ressort à un simple contraste de lumière et

d'ombre; le fond blanc fait paraître le rouge plus sombre par contraste. Mais nous sommes habitués à voir le rouge, quand on le rend plus foncé, s'éloigner de l'orangé et se rapprocher du rouge pur, ou peut-être même devenir un peu pourpré; aussi paraît-il le faire dans ce cas : il y a là un effet de prévision agissant sur l'imagination. Lorsque le rouge est posé sur un fond noir, le contraste le fait paraître plus lumineux; mais nous sommes habitués à voir le rouge lumineux prendre une teinte orangée : de là le résultat. Le rouge sur un fond gris plus ou moins foncé subit des changements en rapport avec ceux que nous venons d'indiquer. Le rouge pâle, c'est-à-dire le rouge étendu de beaucoup de blanc, sur un fond blanc, semble devenir plus intense; sur un fond noir ou gris foncé, il pâlit et semble se rapprocher du blanc pur. Ici, le contraste entre la lumière et l'ombre est assez fort pour faire presque disparaître la couleur; ou bien nous pouvons dire que le rouge pâle se rapproche réellement beaucoup plus du blanc pur que du noir, et finit par conséquent par passer pour le premier des deux. Le rouge sombre et terne sur un fond blanc peut être pris pour du brun; sur un fond noir, il paraît plus lumineux et plus rouge. L'orangé, sur un fond blanc, prend un aspect plus foncé et plus rougeâtre; sur un fond noir, il semble plus lumineux et plus jaune. Les autres effets sont analogues à ceux que nous venons d'indiquer pour le rouge. Le jaune, sur un fond blanc, paraît plus foncé et plus verdâtre que sur un fond noir; sur ce dernier fond, il prend un éclat tout particulier, et le noir aussi fait très bon effet et prend une teinte bleuâtre. Le jaune foncé, sur un fond blanc, paraît brun ou brun verdâtre; sur un fond noir, il ressort avec avantage. Le jaune pâle, sur un fond blanc, prend ordinairement un ton verdâtre; sur un fond noir, il semble blanchâtre. Le jaune avec le gris ou le noir forme une réunion de couleurs agréable à l'œil, dont on trouve de nombreux exemples dans la nature et dans les arts. Le vert, sur un fond blanc, paraît plus foncé et plus riche; sur un fond noir, il pâlit un peu, et, par contraste, le noir prend une teinte rougeâtre qui rappelle la rouille. Le vert donne au gris un aspect rougeâtre; cet effet est surtout marqué lorsque le gris a presque la même luminosité que le vert, et aussi quand ils sont tous deux dans l'ombre. Le bleu cyané sur le blanc paraît plus foncé et peut-être plus verdâtre que sur le noir. Le bleu sur le blanc semble foncé et riche, mais n'a aucune tendance à tirer sur le vert; sur le noir, par contraste, il devient plus lumineux. Il en est de même du bleu sur le gris; celui-ci prend

une teinte un peu jaunâtre ou rouillée. L'action du violet est semblable à celle du bleu.

De tout ce qui précède il ressort clairement que le contraste du noir, du blanc et du gris avec les différentes couleurs dépend surtout d'une augmentation ou d'une diminution apparente de leur luminosité, augmentation ou diminution qui en modifie presque toujours la teinte apparente, par voie d'association. Avec les couleurs froides, la teinte du fond gris ou noir est affectée et semble tendre vers une teinte complémentaire de la couleur employée. Le gris s'associe dans notre esprit avec le bleu, et, lorsque l'effet produit est en contradiction avec cette association d'idées, il déplaît ; au contraire, le gris et le jaune forment un contraste agréable, parce que le jaune tend à donner au gris un aspect bleuâtre qui corrige le ton jaunâtre ou rouillé qu'il pourrait présenter. Nous lisons dans certains ouvrages sur les couleurs que les teintes complémentaires données par le gris pur réagissent sur les couleurs qui les produisent, et leur prêtent une force nouvelle. Un œil fatigué de regarder du vert trouve en effet du repos à regarder le complément du vert, qui est un mélange de rouge et de violet, et pourra ensuite mieux voir le vert; mais nous avons peine à comprendre comment l'action du rouge, du violet et du vert, ou, ce qui revient au même, de la lumière grise, peut reposer l'œil ou lui rendre ses forces momentanément épuisées. Pour les teintes pâles, un effet de ce genre semble se produire en effet, mais il faut l'attribuer plutôt à l'action du jugement qu'à une cause physiologique.

CHAPITRE XVI

LE PETIT INTERVALLE ET LA DÉGRADATION DES TEINTES

Nous avons vu dans le chapitre précédent que, lorsqu'on rapproche deux couleurs presque identiques, le contraste fait paraître chacune d'elles moins intense ou moins saturée : le rouge et le rouge orangé, le jaune et le jaune orangé, le bleu cyané et le bleu nous offrent des exemples de ces combinaisons. On pourrait supposer d'après cela qu'il est interdit en peinture de juxtaposer des couleurs de nuances si rapprochées ; mais la pratique nous montre que les couleurs qui sont séparées seulement par un *petit intervalle* sur le cercle chromatique, peuvent être associées sans inconvénient, à de certaines conditions. Si les deux couleurs expriment une variation de la luminosité d'une seule et même surface colorée, elles ne se nuisent pas mutuellement, et nous donnent l'impression d'une seule surface colorée, plus vivement éclairée dans certaines de ses parties. L'habit écarlate d'un soldat anglais, lorsqu'il est dans l'ombre, paraît rouge ; si une de ses parties reçoit les rayons du soleil, elle paraît rouge orangé. L'herbe prend au soleil une teinte vert jaunâtre ; à l'ombre, elle semble plus bleuâtre. Mais ni l'un ni l'autre de ces effets ne nous déplaît, parce que nous les regardons comme les conséquences naturelles du genre d'éclairage auquel ces objets sont exposés. L'effet n'est pas désagréable même dans la peinture purement ornementale, si l'on voit que les deux teintes sont destinées à exprimer des degrés différents de luminosité du même élément du dessin, quand même il ne s'agirait que d'arabesques. Cette explication montre que les luminosités des deux teintes contiguës doivent être choisies de manière à s'accorder avec la nature ; sans cela, nous produirions des effets contradictoires. Voici un tableau présentant une série de petits intervalles disposés d'après les luminosités naturelles ; on verra qu'il est d'accord avec les lumino-

sités relatives des couleurs du spectre, c'est-à-dire des couleurs dont la réunion compose la lumière blanche (voyez le chapitre III) :

TABLEAU DES PETITS INTERVALLES

Couleurs foncées.	Couleurs claires.
Rouge	Rouge orangé.
Rouge orangé	Orangé.
Orangé	Jaune orangé.
Jaune orangé	Jaune.
Vert jaunâtre	Jaune verdâtre.
Vert	Vert jaunâtre.
Bleu cyané	Vert.
Bleu	Bleu cyané.
Bleu d'outremer	Bleu.
Violet	Pourpre
Pourpre	Rouge.

On remarquera que les couleurs de la colonne intitulée « Couleurs foncées » ne sont en réalité que celles de l'autre série obscurcies par l'ombre ; la différence peut souvent être plus grande que celle indiquée par le tableau. Un des intervalles qui se présentent le plus fréquemment est celui du jaune passant au jaune orangé. Dans les couchers de soleil, le jaune s'offre rarement aux yeux sans subir un changement de cette nature ; le même changement est presque la règle pour les fleurs jaunes ; enfin les bruns jaunâtres pâles, interrompus, ternes, d'un grand nombre d'objets naturels, manifestent la même tendance. Les feuillages éclairés par le soleil nous offrent de superbes exemples des rapports du jaune verdâtre et de ses variétés avec le vert ; enfin l'intervalle entre le bleu cyané et le bleu ordinaire ou le bleu d'outremer nous est présenté sur une immense échelle par le ciel. Les couchers de soleil brillants nous montrent sans cesse le premier et le dernier couple d'intervalles, et il est réellement presque impossible de penser à un coucher de soleil sans voir aussitôt en imagination du rouge et du pourpre. La liste ci-dessus ne comprend pas l'intervalle du jaune verdâtre au jaune, parce qu'il est peut-être moins facile à supporter qu'aucun autre ; nous aimons à voir le jaune lumineux ou riche, c'est-à-dire tirant sur l'orangé ; mais, lorsqu'il commence à devenir décidément verdâtre, nous hésitons, à moins qu'il n'y ait quelque bonne raison pour l'accepter. Quand on se sert du petit intervalle et que les deux teintes entrent en lutte, parce qu'elles appartiennent à des surfaces différentes, l'effet est moins bon, à moins qu'il ne soit justifié par la

nature de l'éclairage ou par quelque autre raison également satisfaisante.

Presque tout ce que nous venons de dire s'applique au cas où l'on passe d'une couleur à une autre par des gradations assez douces et insensibles pour que le spectateur ne puisse dire où l'une se termine et où l'autre commence. Ici encore, des couleurs qui se suivent de près ou qui ne sont séparées que par un petit intervalle, se fondent harmonieusement et produisent un bon effet. Cela s'explique surtout par nos idées préconçues des changements que fait éprouver aux surfaces colorées une lumière plus ou moins vive. Si les couleurs sont très-éloignées l'une de l'autre sur le cercle chromatique, le passage rapide de la première à la seconde par voie de fusion produit un effet toujours étrange et souvent désagréable. Une surface jaune mise en opposition bien nette avec une surface bleue fait souvent bon effet; au contraire, l'effet sera mauvais si l'on passe du jaune au bleu par une série de gradations rapides : c'est comme si l'on voulait affirmer en même temps que cette surface est chaude et lumineuse aussi bien que froide et sombre. Quand nous regardons le ciel, il est vrai que nous voyons, vers le coucher du soleil, les parties jaunes passer un peu plus bas à l'orangé et au rouge, tandis qu'au-dessus elles vont au bleu par une longue série de gradations lentes; mais la distance entre le bleu et le jaune est considérable, et ces deux couleurs sont séparées par toute une série de teintes neutres ; de plus, nous songeons à toutes ces teintes comme résultant de la proximité apparente ou de l'éloignement apparent du soleil. Et encore, en pareil cas, un grand nombre de peintres aiment mieux ne pas faire entrer dans leurs tableaux une trop grande partie du bleu de la partie supérieure du ciel, ce qui leur permet d'en exprimer plus nettement la chaleur et l'éclat. Lorsque la nature nous présente un champ d'herbe qui finit par devenir bien nettement rouge, nous pensons à la luzerne pour nous l'expliquer, sans cependant être tout à fait charmés de sa présence. Dans quelques lacs des montagnes, — le Königssee, par exemple — nous voyons l'eau vert bleu passer au rouge pourpré par des gradations un peu rapides en certains endroits. La transition prompte de la couleur primitive à cette teinte presque complémentaire produit un effet qui semble étrange et presque incroyable à ceux qui en sont témoins pour la première fois. Quand nous en avons reconnu la cause, nous apprenons à considérer les taches pourprées comme marquant les endroits où l'eau est peu profonde, et, lorsque nous avons accepté

l'effet comme raisonnable, nous en sommes bientôt enchantés, et nous nous le rappelons toujours, à cause de sa beauté étrange.

Lorsque deux couleurs très différentes sous le double rapport de la teinte et de la saturation, ou seulement sous le dernier, se fondent rapidement l'une dans l'autre sur la même surface, nous cherchons toujours la raison de ce changement de teinte, et, si nous n'en trouvons pas, l'effet nous semble ordinairement aussi absurde que le serait le caractère d'un homme qui, d'abord calme et froid, deviendrait brusquement et sans raison appréciable tendre et pathétique. Quand nous voyons les tons froids gris ou brun grisâtre de la surface d'une falaise prendre tout à coup une teinte rosée, nous voulons avoir l'explication de ce changement, et nous sommes satisfaits si l'on nous dit que le sommet de la falaise est encore éclairé par le soleil couchant; mais, s'il est midi, nous sommes forcés de penser que les veines rouges de quelque substance étrangère sillonnent probablement le rocher grisâtre; nous nous demandons ce que c'est, et nous voudrions que ce ne fût pas. Voilà une des raisons secondaires pour lesquelles les peintres aiment à grouper leurs teintes par grandes masses, les couleurs chaudes et brillantes d'un côté, et les teintes pâles et froides de l'autre.

Parmi les caractères les plus importants de la couleur dans la nature, il faut ranger la dégradation pour ainsi dire infinie qui l'accompagne toujours. Il est impossible d'échapper aux changements délicats que subit la couleur de tous les objets de la nature suivant la manière dont la lumière vient les frapper, à moins de prendre toutes les précautions qu'exige une expérience dans un laboratoire de physique. Même lorsque la surface que l'on considère est plate et blanche, certaines de ses parties sont toujours plus éclairées que d'autres, ce qui les fait nécessairement paraître plus jaunâtres ou moins grises; et, outre cette cause de changements, la surface blanche reçoit sans cesse de la lumière colorée de tous les objets colorés qui l'avoisinent, et la réfléchit à son tour de mille façons diverses. Si, dans un tableau, un peintre représente une feuille de papier par un espace uniformément blanc ou gris, le modèle sera fort mal rendu, et, pour que la peinture soit exacte, l'artiste devra la couvrir de gradations délicates de clair obscur et de couleur. Nous nous figurons ordinairement une feuille de papier comme un objet d'une teinte tout à fait uniforme, et cependant nous rejetons sans hésiter comme inexacte toute peinture de teinte uniforme qui

prétend la représenter. Là-dessus notre éducation inconsciente est bien en avance sur notre éducation consciente ; notre mémoire des sensations est immense, tandis que notre souvenir des causes qui les produisent est presque nul, et cela avec raison : si nous ne nous souvenons pas de ces causes, c'est surtout parce que nous ne les avons jamais sues. Un des devoirs du peintre est d'étudier les causes d'où proviennent les sensations très complexes qu'il éprouve, même dans un cas aussi simple que celui dont nous venons de parler. Il en résulte que sa connaissance des éléments dont se composent les sensations chromatiques est bien plus étendue que celle des autres personnes ; quant à sa mémoire des sensations chromatiques elles-mêmes, elle n'est pas nécessairement plus étendue que la leur. Il faut par conséquent une longue étude pour acquérir la faculté de reconnaître et de comprendre les gradations de couleur les plus délicates, bien qu'un travail préliminaire ne soit pas indispensable pour sentir le plaisir qu'elles peuvent faire éprouver au simple spectateur.

Ces changements gradués de couleur que tous les objets naturels nous présentent sans cesse, donnent à notre esprit une idée de la richesse et de l'immensité des ressources de la nature : il y a toujours quelque chose de plus à voir, quelque nouvelle série fugitive de teintes délicates à suivre ; et, même lorsque l'observateur ne songe pas à étudier la couleur, elle agit cependant sur son esprit, elle lui fait sentir la puissance de la nature, et lui donne une vague perception de la multitude infinie de changements imperceptibles par lesquels elle varie sans relâche l'aspect des objets les plus vulgaires. Cette succession régulière de teintes qui se fondent l'une dans l'autre est une des plus grandes sources de beauté que nous connaissions, et la grande ambition des meilleurs peintres est de faire de plus en plus entrer cet élément dans leurs œuvres, parce qu'ils savent que c'est la dégradation bien plutôt que le contraste qui est le triomphe de leur art. L'art oratoire aussi doit ses plus grands effets à des moyens analogues : c'est par une habile gradation de pensées et de tons, bien plutôt que par des contrastes violents, que l'orateur émeut vivement son auditoire. Nous sommes très sensibles aux modulations de la voix, même dans le discours ordinaire, et nous jugeons tout de suite du degré de culture et de distinction d'un étranger d'après la manière dont il prononce quelques mots. Ces faits ont leurs analogues dans l'emploi des couleurs soit pour la peinture artistique, soit pour la peinture décorative. Voici comment Ruskin s'exprime au sujet de

la dégradation des couleurs : « Vous reconnaîtrez dans la pratique que l'éclat des couleurs, la force de la lumière et même les effets de transparence des ombres dépendent essentiellement de ce caractère seul ; au contraire, la dureté, la froideur et l'opacité résultent bien plus encore de l'*égalité* d'une couleur que de sa nature. » Plus loin, le même auteur, dans ses conseils aux commençants, s'exprime ainsi : « Quelque petite que soit une touche de couleur, quand même elle ne serait pas plus grande qu'une tête d'épingle, si une de ses parties n'est pas plus foncée que le reste, c'est une mauvaise touche ; et ce n'est pas seulement parce qu'elle est ainsi dans la nature que votre couleur doit être dégradée : la valeur et la beauté d'une couleur dépendent plus de cette qualité que de toute autre, car la dégradation est aux couleurs ce que la courbure est aux lignes : l'une et l'autre paraissent belles à l'esprit humain guidé par son seul instinct, et l'une et l'autre, considérées comme types, expriment la loi du changement et du progrès graduel de l'âme humaine elle-même. Pour bien reconnaître la différence qu'il y a sous le simple rapport de la beauté entre une couleur bien dégradée et une autre qui ne l'est pas, il suffit d'étendre sur une feuille de papier une teinte plate de couleur rose et de mettre une feuille de rose à côté. La beauté triomphante de la rose, quand on la compare aux autres fleurs, dépend uniquement de la délicatesse et de la multitude de ses gradations de couleur, car toutes les autres fleurs sont ou moins riches en gradations, ayant moins de pétales accumulés, ou moins tendres, parce qu'elles sont marbrées et veinées au lieu d'être nuancées[1]. »

Tous les grands coloristes ont été profondément pénétrés d'un sentiment de ce genre, et leurs œuvres, quand on les regarde à la distance voulue, paraissent réellement trembloter, tant leurs teintes sont changeantes et semblent littéralement se modifier sous les yeux du spectateur, de sorte qu'il est souvent impossible pour celui qui les copie de dire ce qu'elles sont au juste, et de les reproduire exactement par ses mélanges de couleurs, de quelque manière qu'il les modifie. Parmi les paysages modernes, ceux de Turner sont fameux par leurs gradations infinies, et il n'est pas jusqu'aux aquarelles de ce peintre

1. *Elements of Drawing*, par J. Ruskin. Le célèbre peintre Samuel Colman nous a dit une fois que ce livre de Ruskin contenait, non seulement plus de préceptes utiles à ceux qui étudient la peinture que tous les autres traités sur le même sujet, mais encore plus de faits que tous les traités réunis.

qui n'aient la même qualité. La fusion parfaite des couleurs, par exemple, dans le ciel ou dans les tableaux qui le représentent avec le plus de perfection, produit un effet d'une douceur et d'une beauté merveilleuses, et les teintes s'y fondent les unes dans les autres avec la facilité qu'offrirait le mélange de deux liquides. La dégradation et la douceur parfaites des couleurs du ciel indiquent bien la nature de notre atmosphère, ce gaz impalpable, mobile et pour ainsi dire sans bornes.

Mais il existe un autre genre de dégradation de degré inférieur qui a un charme tout particulier, et qui est très précieux dans les arts et dans la nature. Nous voulons parler de l'effet qui se produit lorsqu'on juxtapose des couleurs différentes en lignes continues ou pointillées, et qu'ensuite on les regarde d'assez loin pour que leur fusion soit opérée pour l'œil du spectateur. Dans ce cas, les teintes se mélangent sur la rétine et produisent des couleurs nouvelles, identiques à celles qu'on obtient par la méthode des disques tournants (voy. le chap. X). Si les lignes ou les points colorés sont situés à une grande distance de l'observateur, le mélange est évidemment parfait et n'offre rien de remarquable dans son aspect; mais, avant d'atteindre cette distance, on passe par un point où les couleurs se mêlent d'une manière un peu imparfaite, de sorte que la surface semble vaciller. Cet effet vient sans doute de ce que de temps en temps on subit l'impression des éléments colorés distincts. Ceci communique à la surface un éclat d'une douceur particulière, et lui donne un certain air de transparence, comme si notre vue pouvait la pénétrer. La théorie de Dove sur le lustre des surfaces s'applique peut-être à ce phénomène bien connu. D'après cet auteur, lorsque deux faisceaux de lumière agissent à la fois sur nos yeux, ils produisent l'effet appelé lustre, pourvu que quelque chose nous avertisse qu'il y a réellement *deux* faisceaux lumineux. Lorsque nous regardons une table polie et vernie, nous en voyons la surface à cause de ses défauts, des rayures et de la poussière qui peuvent s'y trouver, et en outre nos yeux sont frappés par un autre faisceau de lumière qui est régulièrement réfléchi par cette surface : alors la table nous semble avoir du lustre. Nous-même, et Dove après nous par un autre procédé, avons réussi à obtenir cette apparence de lustre en regardant avec un œil seulement, c'est-à-dire sans le secours de la vision binoculaire [1]. Dans le cas qui nous occupe,

1. *American Journal of Science and Arts*, mai 1861.

les images des points colorés se superposent plus ou moins entre elles sur la rétine, et par conséquent sont vues l'une à travers l'autre : à la distance régulière. nous nous apercevons d'un certain défaut d'uniformité, parce que la fusion des couleurs n'est pas égale partout. D'après la théorie de Dove, ce sont là les conditions nécessaires pour la production d'un lustre plus ou moins doux. Des couleurs complémentaires brillantes nous donnent le lustre le plus grand possible; lorsque les couleurs sont voisines les unes des autres sur le cercle chromatique, ou ternes et pâles, l'effet est peu marqué, mais est encore assez grand pour faire paraître la surface un peu transparente. En remplaçant les deux couleurs simplement par du blanc et du noir, on obtient encore la même apparence lustrée. Sir David Brewster a décrit une expérience qui a un certain rapport avec ce phénomène. Si l'on choisit un papier de tenture dont le dessin se répète à un intervalle d'environ un décimètre, on peut, après quelques tâtonnements, disposer ses yeux de manière que les parties adjacentes et correspondantes du dessin semblent s'unir et former une nouvelle image, qui sera sous presque tous les rapports identique à celle que donne la vision ordinaire. Cette nouvelle image ne semblera pas être à la même distance de l'œil que les objets réels, et se déplacera au plus léger mouvement de la tête; mais, ce qui nous intéresse ici. c'est qu'elle a un air de transparence et de beauté qu'on ne retrouve pas dans l'original. Dans cette expérience, deux faisceaux lumineux un peu différents viennent frapper les deux yeux, et il en résulte un air de transparence, en prenant ce mot dans son sens artistique.

Mais revenons à notre sujet : cette fusion imparfaite des couleurs ou du noir et du blanc par l'œil a pour résultat de donner à la surface un air de limpidité, et d'en écarter toute idée de dureté ou d'aspect crayeux ; cet aspect nous est si familier que nous l'acceptons comme tout naturel, et ne nous apercevons de son charme que lorsqu'il a disparu. Comme exemple de cet effet fourni par la nature, nous pouvons citer la mer vue d'un peu loin sous un ciel bleu éclatant : les vagues sont vertes pour la plupart, séparées par des intervalles bleus; ces deux couleurs se fondent alors en un bleu verdâtre éclatant qu'il est impossible d'imiter par un simple mélange de couleurs. De même quand on regarde de loin les herbes d'une prairie : les teintes vert jaunâtre, vert bleuâtre, rougeâtres, pourprées et brunes, et la lumière qu'elles reflètent se fondent plus ou moins ensemble, et produisent un effet qu'un seul coup de pinceau ne peut jamais imiter. Les feuil-

lages d'arbres éloignés sur le penchant d'une colline donnent quelquefois des effets de ce genre, et on en voit aussi quelques faibles traces même dans la poussière d'une route fréquentée, dans laquelle les petits grains de sable brillants exercent une certaine action sur l'œil, même après qu'ils ne peuvent plus être distingués individuellement.

La peinture à fresque et celle des décors de théâtre tirent un grand parti de ce principe : à la distance convenable, les couleurs adjacentes se fondent ensemble, et ce qui de près ne semblait qu'une masse de barbouillages confus devient de loin un tableau régulier. Dans les peintures à l'huile aussi, le peintre tire habilement parti du mélange des couleurs qui se fait sur la rétine du spectateur ; ce mélange leur prête un charme magique, parce que les teintes semblent plus pures et plus variées, et, comme l'apparence du tableau change un peu suivant que le spectateur s'en approche ou s'en éloigne, il semble en quelque sorte devenir vivant et animé. Les tableaux à l'huile dans lesquels le peintre n'a pas profité de ce principe subissent un désavantage évident : à mesure que le spectateur recule, les couleurs adjacentes se fondent ensemble, que l'artiste l'ait voulu ou non ; et, si celui-ci ne l'a pas prévu, un effet nouveau et tout à fait inférieur ne manque pas de se produire. Dans l'aquarelle, la même manière de peindre est constamment employée sous forme d'un pointillage plus ou moins marqué, grâce auquel le peintre peut obtenir certains effets de transparence et de richesse auxquels sans cela il lui serait impossible d'arriver. Si le pointillage est régulier et très évident, il donne quelquefois à la peinture un air mécanique qui n'est pas tout à fait agréable ; mais, quand on l'emploie d'une manière convenable, c'est un moyen précieux et qui se prête bien à l'expression de la forme. Si nous descendons encore plus bas, nous voyons les dessinateurs de papiers de tenture et de tapis employer sans cesse cette manière de mélanger les couleurs et de les graduer. Dans les châles de cachemire, le même principe est développé et poussé fort loin, et c'est à cela que ces étoffes doivent une grande partie de leur beauté. Enfin, dans les différents genres de gravure et dans les dessins à la plume, nous trouvons d'autres exemples de son application : leur netteté, leur transparence et leur éclat sont dus principalement à la fusion un peu imparfaite des lignes noires avec les blanches. Pour mieux se rendre compte de cet effet, on peut les comparer avec des lithographies, ou, mieux encore, avec des dessins à l'encre de Chine ou à la sépia. La douceur des deux dernières espèces de dessins

est vraiment séduisante et, sous certains rapports, tout à fait conforme à la nature ; mais, si l'on évite tout à fait l'emploi des lignes, les dessins sont exposés à manquer de transparence pour les masses d'ombre un peu foncées et à paraître lourds ou ternes. On évite cet effet en introduisant dans ces dessins un certain nombre de lignes, soit avec la plume, soit avec un petit pinceau. La nature nous offre une grande variété d'aspects, et les diverses méthodes de l'art sont destinées à représenter tel ou tel autre de ces aspects avec plus ou moins de perfection ; mais il n'existe point de procédé artistique unique qui puisse les traiter tous avec le même succès.

Ajoutons enfin que, lorsqu'on emploie les couleurs seulement pour l'ornementation, la fusion ou la dégradation devient d'une importance accessoire. Il en est ainsi, par exemple, lorsque tout le dessin est en teintes plates. Un travail de ce genre, où l'on ne permet pour ainsi dire pas à la fantaisie d'altérer la régularité générale du dessin ou des couleurs, est un des premiers degrés par lesquels la peinture arrive peu à peu au dessin purement décoratif. Celui-ci nous offre des couleurs disposées en masses harmonieuses, limitées par des contours vifs, souvent marqués nettement en noir, et nous aimons ces masses colorées ainsi que leurs contours corrects. Toute dégradation, toute fusion des couleurs est supprimée, et ce fait seul suffit pour nous convaincre qu'il ne s'agit plus de représenter réellement les objets ; nous aimons les couleurs et leurs contours, et nous sommes un peu surpris de voir tout le parti qu'on en peut tirer ; si de l'or figure dans le fond ou les draperies, sa présence ne fait qu'ajouter à l'effet général. Par des transformations insensibles, les figures d'hommes, d'animaux et d'objets divers deviennent de plus en plus conventionnelles ou grotesques, comme dans l'art héraldique, jusqu'à ce qu'enfin il ne s'agisse plus de reproduire les objets naturels. Désormais le peintre se contente de s'*inspirer* de ces objets, et il en tire à peu près le même parti que le compositeur en musique. Mais son but est de produire quelque beau dessin qui serve à orner un objet donné — un tissu, un vase, ou le mur de quelque édifice. Comme la dégradation est un des moyens les plus efficaces de donner à une œuvre peinte une apparence de réalité complète, elle ne peut évidemment jouer qu'un rôle très secondaire dans l'ornementation, où le peintre veut avant tout éviter jusqu'au soupçon d'avoir visé à reproduire la réalité.

En terminant ce chapitre, il est bon de signaler un effet singulier que la dégradation insensible produit souvent sur les objets réels ou

sur leurs représentations par la peinture. Nous avons vu qu'une surface colorée de forme bien définie, posée sur un fond gris, peut, par un effet de contraste, faire paraître le fond de la couleur complémentaire. Par exemple, un carré gris sur un fond vert semblera prendre une teinte rose. Mais, si le vert se fond avec le gris par des gradations insensibles, on peut faire en sorte qu'une petite quantité de vert fasse paraître verte la surface tout entière, tandis que la plus grande partie de cette surface est réellement grise. Cet effet se remarque souvent sur des rochers couverts en partie de mousse verte : quelques plaques assez petites sur le côté exposé à la lumière auront une teinte vert brillant ; une partie de la surface qui se trouve dans l'ombre sera vert foncé, et cette couleur passera peu à peu au brun ou au gris, avec çà et là quelques points vert olive. Ainsi les trois quarts de la surface située dans l'ombre seront réellement gris ou bruns, et malgré cela la totalité de ce côté paraîtra vert foncé. Un autre exemple très commun de ce phénomène nous est fourni par le feuillage d'arbres qui se trouvent placés de telle sorte que le soleil semble au-dessus d'eux. Dans ces circonstances, leurs sommets et leurs côtés reçoivent les rayons du soleil et semblent d'un vert jaunâtre brillant ; le reste de l'arbre est dans l'ombre et paraît à première vue d'un vert plus foncé, et c'est ainsi que les commençants le représentent toujours. Mais si l'on regarde la couleur à travers une ouverture de la largeur d'un pois, découpée dans une carte blanche, on verra que la couleur véritable est un gris un peu verdâtre. Quand on s'éloigne de l'arbre, on voit souvent cette couleur de son côté d'ombre se changer en gris pur, bien qu'un observateur superficiel la prenne encore pour du vert. Certains peintres qui ont reconnu le principe que nous venons de signaler, ont obtenu par là des effets vraiment merveilleux : en renonçant à toute trace de couleur locale, pour y substituer une teinte grise, ils ont donné à leur tableau une perspective aérienne et une apparence de luminosité presque parfaites.

CHAPITRE XVII

COMBINAISONS BINAIRES ET TERNAIRES DES COULEURS

Dans cet ouvrage, nous nous sommes occupé jusqu'ici de faits susceptibles d'une démonstration plus ou moins rigoureuse ; mais maintenant nous sommes en présence de toute une série de problèmes qui ne peuvent être résolus ni par les méthodes du laboratoire, ni par les procédés rigoureux de la logique. Pourquoi une certaine combinaison de couleurs nous plaît-elle, et pourquoi telle autre disposition nous laisse-t-elle froids ou même nous choque-t-elle un peu ? Voilà des questions auxquelles nous ne pouvons pas toujours répondre de manière à nous satisfaire nous-mêmes. Il est certain que le contraste favorable ou défavorable exerce une grande influence sur notre décision, comme nous le montrerons un peu plus loin ; mais d'autres considérations obscures et même inconnues nous influencent aussi quelquefois. Parmi elles, il faut peut-être compter des tendances héréditaires à rechercher ou à éviter certaines combinaisons de couleurs, ou même certaines couleurs isolées ; l'influence de la couleur générale du milieu dans lequel nous vivons ; l'éducation, et enfin une susceptibilité nerveuse plus ou moins délicate.

Nous donnons plus loin, sous forme de tableaux, quelques-uns des résultats fournis par l'expérience, et nous sommes heureux de déclarer ici que nous devons à MM. Brücke et Chevreul un grand nombre des faits contenus dans ces tableaux.

Le rouge spectral [1] avec le bleu donne la combinaison la plus favorable du premier des deux.
Le rouge spectral avec le vert donne une combinaison énergique, mais un peu dure.
Le rouge spectral avec le jaune donne une combinaison médiocre.
Le rouge spectral avec le minium donne une mauvaise combinaison.
Le rouge spectral avec le violet donne une mauvaise combinaison.

1. Un rouge entre le carmin et le vermillon.

Si l'on remplace la couleur jaune par de l'or, la combinaison devient excellente. Le rouge et le jaune donnent aussi une meilleure combinaison quand le rouge tire sur le pourpre, et le jaune sur le jaune verdâtre. La combinaison rouge et jaune devient encore meilleure quand on rend plus foncé le jaune, ou les deux couleurs à la fois; ceci donne au jaune l'aspect d'un vert olive doux (R). La combinaison rouge et vert gagne aussi lorsqu'on rend plus foncées les deux couleurs, ou le vert seul (R.).

Le vermillon avec le bleu donne une excellente combinaison.
Le vermillon avec le bleu cyané donne une excellente combinaison.
Le vermillon avec le vert donne une combinaison médiocre.
Le vermillon avec le jaune donne une combinaison médiocre.
Le vermillon avec le violet donne une mauvaise combinaison.

Vermillon et or forment une excellente combinaison. La combinaison vermillon et jaune devient un peu meilleure quand on rend le jaune plus foncé; lorsqu'on rend celui-ci beaucoup plus foncé, il fait l'effet d'un vert olive doux (R). Le vermillon et le vert gagnent lorsqu'on rend beaucoup plus foncés le vert seul ou les deux couleurs à la fois (R).

Le minium et le bleu donnent une excellente combinaison.
Le minium et le bleu cyané donnent une excellente combinaison.
Le minium et le vert bleu donnent une combinaison énergique, mais désagréable.
Le minium et le vert jaunâtre donnent une combinaison passable.
Le minium et le jaune donnent une très bonne combinaison.
Le minium et l'orangé donnent une très bonne combinaison.

La combinaison minium et vert bleuâtre devient meilleure lorsqu'on rend plus foncé le vert seul, ou les deux couleurs à la fois (R). Le minium donne une meilleure combinaison avec un jaune dont l'intensité est la même que la sienne; si le jaune est trop brillant, l'effet est médiocre (R). La combinaison du minium avec le jaune vaut bien mieux que celle du rouge avec l'orangé. Les deux dernières combinaisons indiquées dans le tableau sont évidemment des applications du principe du petit intervalle (voy. chap. XVI).

L'orangé avec le bleu cyané donne une combinaison bonne et énergique.
L'orangé avec l'outremer donne une combinaison bonne et énergique.
L'orangé avec le vert donne une bonne combinaison.
L'orangé avec le violet donne une combinaison passable.

Le jaune orangé avec l'outremer donne sa meilleure combinaison.
Le jaune orangé avec le bleu cyané donne une combinaison un peu moins bonne.
Le jaune orangé avec le violet donne une bonne combinaison.
Le jaune orangé avec le pourpre donne une bonne combinaison.
Le jaune orangé avec le rouge pourpre donne une combinaison médiocre.
Le jaune orangé avec le rouge spectral donne une combinaison médiocre.
Le jaune orangé avec le vert de mer donné une mauvaise combinaison.

Le jaune avec le violet donne ses meilleures combinaisons.
Le jaune avec le rouge pourpre donne de bonnes combinaisons.
Le jaune avec le pourpre donne de bonnes combinaisons.
Le jaune avec le rouge spectral donne des combinaisons médiocres.
Le jaune avec le bleu est inférieur à la combinaison du jaune orangé avec le bleu.
Le jaune avec le vert bleu donne une des plus mauvaises combinaisons possibles.
Le jaune avec le vert donne de mauvaises combinaisons.

Dans la combinaison du jaune avec le rouge spectral, il y a avantage à rendre le jaune plus foncé (R). Le vert bleu et le jaune, rendus tous deux beaucoup plus foncés, donnent une meilleure combinaison (R). D'après M. Chevreul, le jaune donne avec le vert une combinaison bonne et vive; sur ce point, nous ne sommes pas d'accord avec notre éminent devancier, bien qu'il soit vrai que la combinaison devient meilleure quand on rend le jaune beaucoup plus foncé. Le jaune de chrome et le vert émeraude donnent des combinaisons qui ne sont pas mauvaises quand on rend les deux couleurs très foncées (R).

Le jaune verdâtre avec le violet donne ses meilleures combinaisons.
Le jaune verdâtre avec le pourpre donne de bonnes combinaisons.
Le jaune verdâtre avec le rouge pourpré donne de bonnes combinaisons.
Le jaune verdâtre avec le vermillon donne des combinaisons énergiques, mais dures.
Le jaune verdâtre avec le rouge spectral donne des combinaisons énergiques, mais dures.
Le jaune verdâtre avec le minium donne des combinaisons passables.
Le jaune verdâtre avec le jaune orangé donne de mauvaises combinaisons.
Le jaune verdâtre avec le bleu cyané donne de mauvaises combinaisons.
Le jaune verdâtre avec l'outremer donne une combinaison un peu meilleure.

La combinaison du jaune verdâtre avec le jaune orange devient un peu meilleure lorsqu'on rend un peu plus foncée la seconde couleur. qui paraît alors brunâtre (R). Le jaune verdâtre et le bleu cyané donnent une meilleure combinaison lorsqu'on rend le bleu plus foncé (R).

Le vert d'herbe avec le violet donne des combinaisons bonnes, mais difficiles.
Le vert d'herbe avec le violet pourpre donne des combinaisons bonnes mais difficiles.
Le vert d'herbe avec le rose donne des combinaisons d'une valeur douteuse.
Le vert d'herbe avec le carmin donne des combinaisons d'une valeur douteuse.
Le vert d'herbe avec le rosé donne des combinaisons d'une valeur douteuse.
Le vert d'herbe avec le bleu donne des combinaisons d'une valeur douteuse.

La valeur des quatre dernières combinaisons est contestée. La combinaison vert et carmin devient meilleure lorsqu'on rend les deux couleurs beaucoup plus foncées (R). La combinaison vert et bleu s'améliore si le vert tire sur le jaune et le bleu sur le violet (R). D'après M. Chevreul, la combinaison vert et violet devient meilleure avec les teintes pâles de ces couleurs.

Le vert émeraude avec le violet donne des combinaisons énergiques, mais dures.
Le vert émeraude avec le pourpre donne des combinaisons énergiques, mais dures.
Le vert émeraude avec le rouge donne des combinaisons énergiques, mais dures.
Le vert émeraude avec l'orangé donne des combinaisons énergiques, mais dures.
Le vert émeraude avec le jaune donne de mauvaises combinaisons.

Toutes ces combinaisons sont d'un maniement très difficile. Le vert émeraude et le jaune donnent des combinaisons un peu meilleures quand on les rend tous deux très-foncés (R).

Le vert de mer avec le vermillon donne de bonnes combinaisons.
Le vert de mer avec le minium donne de bonnes combinaisons.
Le vert de mer avec le violet donne de bonnes combinaisons.
Le vert de mer avec le violet pourpre donne des combinaisons passables.
Le vert de mer avec le rouge pourpre donne de médiocres combinaisons binaires.
Le vert de mer avec le carmin donne de médiocres combinaisons binaires.
Le vert de mer avec le bleu donne de mauvaises combinaisons.
Le vert de mer avec le jaune donne de mauvaises combinaisons.

La surface du vert doit être beaucoup plus étendue que celle du vermillon ou du minium.

Le bleu cyané avec le jaune de chrome donne des combinaisons passables.
Le bleu cyané avec le jaune de Naples donne de bonnes combinaisons.

Le bleu cyané avec le jaune paille donne de bonnes combinaisons.
Le bleu cyané avec le carmin (tons clairs) donne de bonnes combinaisons.
Le bleu cyané avec le violet donne des combinaisons très-médiocres.
Le bleu cyané avec le violet pourpre donne des combinaisons très médiocres.
Le bleu cyané avec l'outremer donne de bonnes combinaisons.

Les combinaisons du bleu cyané avec le violet et le violet pourpre ne sont bonnes qu'avec des substances fines et des tons clairs.

L'outremer avec le carmin donne des combinaisons plus médiocres que le bleu cyané.
L'outremer avec le rouge pourpre donne des combinaisons plus médiocres que le bleu cyané.
L'outremer avec le violet donne des combinaisons binaires très médiocres.
Le violet avec le pourpre donne des combinaisons très médiocres si l'on dépasse le petit intervalle.
Le violet avec le carmin donne des combinaisons très médiocres.

Il va sans dire que, lorsqu'on étudie les effets produits par la combinaison des couleurs, il est important d'exclure autant que possible toutes les causes étrangères qui pourraient influencer ou égarer le jugement. Ainsi les couleurs que l'on examine doivent former des dessins très simples, parce que l'emploi de formes ou de compositions d'une beauté remarquable pourrait facilement amener l'observateur à accepter comme bonnes des combinaisons qui devraient leur valeur à autre chose que la couleur. Par la même raison, il faut éviter dans ces études les effets de dégradation et de clair obscur, parce que, de même qu'une bonne composition, ces qualités peuvent dissimuler dans une certaine mesure la médiocrité d'une combinaison de couleurs. De même encore, les substances que l'on emploie pour de telles expériences ne doivent pas être trop belles. Presque toutes les combinaisons de couleurs que l'on exécute avec des verres de couleur paraissent au moins assez bonnes, à cause de l'éclat de la lumière colorée. C'est là une des raisons pour lesquelles les dessins fournis par le caléidoscope ont rendu si peu de services aux arts décoratifs; en effet, lorsqu'on en reproduit les couleurs, même très soigneusement, avec des substances moins belles, non seulement les couleurs perdent souvent leur éclat, mais encore elles paraissent quelquefois ternes ou sales par des effets de contraste défavorable qui ne se faisaient pas risent auparavant. Cette remarque s'applique aussi à la soie, mais à un degré moindre : un grand nombre de combinaisons de couleurs exécutées avec cette substance semblent passables à cause de son

grand pouvoir réflecteur, tandis que les mêmes couleurs, appliquées à la laine ou au coton, font un effet très-médiocre.

Lorsque nous voulons juger de la valeur de certaines combinaisons de couleurs, il ne faut pas accorder une confiance entière aux conclusions que nous pourrions tirer même d'observations faites directement sur nature, parce que, dans ce cas, nous pouvons nous laisser séduire par la beauté des formes, la bonne composition, la gradation délicate et la luminosité des couleurs. Le vert et le bleu, par exemple, donnent une combinaison médiocre, et cependant cette combinaison se présente constamment dans la nature; par exemple, lorsqu'on voit le ciel bleu à travers un feuillage vert. Cet effet est souvent fort bon; mais, si l'on y regarde de près, on reconnaîtra que, dans la plupart des cas, le bleu et le vert ne se trouvent pas réellement en contact; en effet, si les rayons du soleil traversent les feuilles qui semblent en contact avec le ciel, ces feuilles ne paraissent plus vertes, mais bien jaune verdâtre, et cette dernière couleur donne une combinaison passable, surtout avec le bleu d'outremer. Cependant le plus souvent les feuilles en contact avec le ciel sont dans l'ombre, ou du moins ne renvoient pas à l'œil une lumière brillante, et nous avons en réalité un gris verdâtre ou un vert brunâtre combiné avec le bleu du ciel. Quand le vert est réellement en contact avec le bleu du ciel, lorsqu'il s'agit, par exemple, d'une épaisse forêt de jeunes arbres, le vert est ordinairement bien plus foncé que le ciel bleu, comme on le reconnaîtra en fermant à demi les yeux. Dans ce cas, l'effet de contraste du clair obscur est favorable à la combinaison; mais si, par une cause quelconque, le bleu du ciel se trouve assez obscurci pour n'avoir pas plus de luminosité que le vert du feuillage, alors tout artiste sent que la combinaison des deux couleurs est mauvaise. Les formes des arbres sont si belles, la variété, les gradations qu'ils présentent sont si infinies, les idées qu'elles éveillent sont si agréables, que nous pouvons nous faire illusion sur cette combinaison de couleurs; mais, lorsque nous voulons la faire passer sur la toile, notre insuccès nous avertit que la nature se plaît quelquefois à produire les plus beaux effets avec des couleurs d'une valeur douteuse, et sait en dissimuler habilement la pauvreté par des moyens qui ne sont pas toujours faciles à découvrir ou à imiter.

Plusieurs causes peuvent rendre mauvaise une combinaison de deux couleurs. En premier lieu, il faut citer l'influence du contraste; un contraste défavorable peut faire paraître les couleurs ternes et médio-

cres, ou bien encore un excès de contraste favorable peut leur donner une apparence dure et criarde. Nous avons réuni sous forme de diagramme les résultats de nos observations sur la manière dont le contraste diminue ou accroît la saturation ou l'éclat des couleurs. Ce diagramme (fig. 131) et la manière de s'en servir ont été expliqués au chapitre XV, et nous nous contenterons de rappeler ici au lecteur que des couleurs séparées par un angle inférieur à 80 ou 90° se nuisent mutuellement par contraste, tandis que celles dont la distance

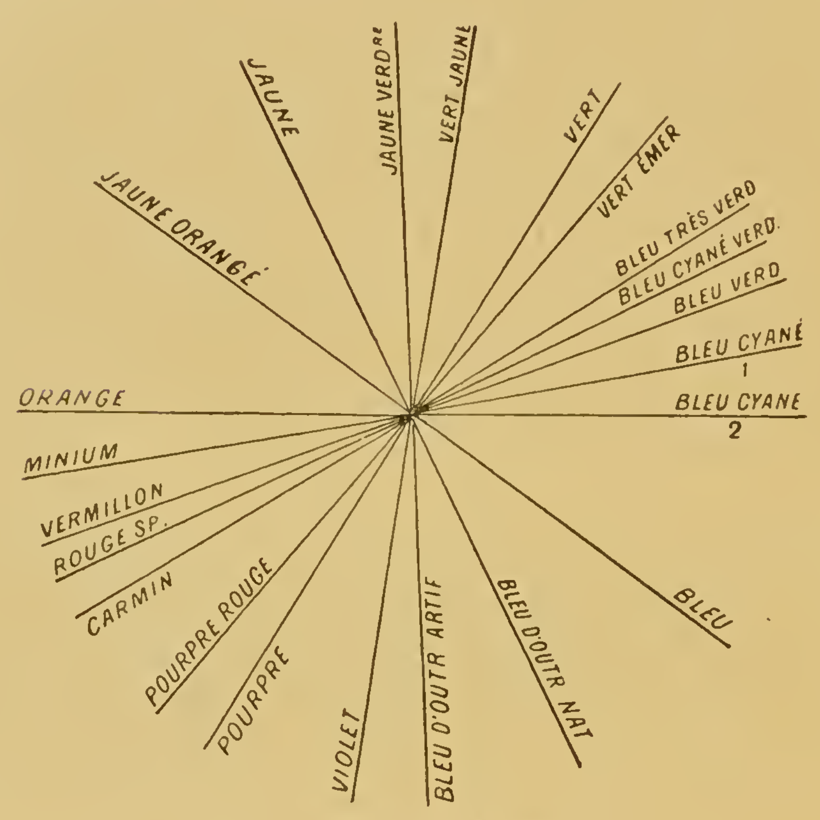


Fig. 131. — Diagramme des contrastes.

angulaire est plus considérable se rehaussent entre elles. Pour les couleurs éloignées d'environ 80°, le résultat est un peu douteux : elles peuvent ou se rehausser ou se nuire mutuellement. Si l'on compare ce diagramme avec les résultats fournis par l'expérience et donnés dans les tableaux précédents, on verra que dans les bonnes combinaisons les deux couleurs sont toujours à plus de 90° l'une de l'autre, de sorte que l'effet du contraste est favorable à l'une et à l'autre. Par exemple, le rouge donne de bonnes combinaisons avec le bleu et le bleu cyané, qui sont situés à bien plus de 90° du rouge, tandis que sa

combinaison avec l'outremer artificiel, qui est plus voisin, est médiocre, et celle avec le violet décidément mauvaise. Mais il ne s'ensuit pas que les couleurs les plus éloignées l'une de l'autre sur le diagramme donnent toujours les meilleures combinaisons; autrement, les meilleures combinaisons seraient tout simplement les couples complémentaires, qui sont évidemment les couleurs les plus éloignées entre elles, puisqu'elles sont situées aux extrémités d'un même diamètre. Au contraire, quelques-unes des couleurs complémentaires donnent une combinaison fort dure par excès de contraste : tels sont le rouge et son complément le bleu vert, et aussi le pourpre avec son complément le vert. Selon Brücke, ces deux couples complémentaires sont de tous les moins employés dans les arts, parce que leur effet est d'une dureté extrême. Partageons en deux le diagramme de la figure 131, en menant une ligne droite du vert jaunâtre au violet; la moitié gauche contiendra les couleurs chaudes, et la droite les couleurs froides. Cela fait, nous remarquerons que le rouge et le bleu vert, ou le pourpre et le vert, sont à la fois complémentaires et situés dans la région du maximum de chaleur et de froid; cette double raison rend le contraste excessif et la combinaison dure. D'après la même autorité, les couleurs complémentaires les plus employées sont l'outremer et le jaune, le bleu et le jaune orangé, ou le bleu cyané et l'orangé; ensuite viennent le violet et le jaune verdâtre. Dans ces différents cas, les couples complémentaires sont situés à une certaine distance des centres de chaleur et de froid, puisqu'ils sont ou sur la ligne de séparation ou dans le voisinage de cette ligne, ce qui empêche le contraste excessif et la dureté que nous reprochons aux cas précédemment cités. Faisons observer ici que les couleurs qui sont vraiment complémentaires donnent souvent de meilleurs effets que celles qui ne font qu'approcher de cet état; le vermillon et le minium, avec leurs compléments le bleu vert et le bleu verdâtre, ne présentent pas des combinaisons aussi désagréables que celles qu'on obtient en remplaçant par le vert la nuance réellement complémentaire.

Les couleurs complémentaires sont précieuses pour un peintre qui est obligé de se servir de couleurs foncées, ternes ou pâles, et qui veut néanmoins obtenir un effet énergique ou brillant. L'aspect terne, ou pâle ou grisâtre des couleurs ne leur permet guère de paraître dures, et, comme elles sont complémentaires, l'éclat des teintes ne peut avoir à souffrir d'un contraste défavorable. En général, plus nous descendons en nous rapprochant du noir, du brun ou du

gris, plus nous pouvons employer librement les couleurs complémentaires sans craindre les effets trop durs; même les couples que nous dénoncions tout à l'heure, rouge et bleu vert, pourpre et vert, lorsqu'ils sont assez foncés, deviennent agréables.

Nous avons dit plus haut que dans les combinaisons agréables les couleurs sont toujours fort éloignées sur le cercle chromatique. Toutefois cette règle n'exclut pas la classe de combinaisons dont nous avons parlé dans le chapitre XVI, où nous avons fait voir que deux couleurs quelconques peu différentes produisent un effet plus ou moins agréable; il s'agit là du *petit intervalle*, dont nous ne nous occupons pas en ce moment.

Or, bien que dans les bonnes combinaisons les couleurs soient assez éloignées sur le cercle chromatique, il ne s'ensuit pas que toutes les couleurs éloignées fassent de bonnes combinaisons. Toutes les fois que le vert, le vert émeraude ou le vert bleuâtre entre dans une combinaison, elle est dure, si le vert est bien franc ou couvre un grand espace. L'énorme difficulté de l'emploi du vert tranché ou du vert bleuâtre est bien connue de tous les peintres, et beaucoup d'entre eux évitent autant que possible de s'en servir. La présence dans un tableau d'une quantité fort raisonnable d'une couleur qui approche du vert bleuâtre ou du vert émeraude, excite un sentiment d'aversion chez presque tout le monde, et fait paraître froide et dure — et même très froide et très dure — une œuvre bonne sous tous les autres rapports. D'ailleurs la plupart des peintres semblent être d'avis que la couleur appelée vert émeraude est plus intense et plus saturée qu'aucune autre de celles qu'ils emploient. A un point de vue purement optique, ceci semble à peine exact; le vert émeraude réfléchit plus de lumière blanche mêlée à ses rayons colorés que le vermillon, et sa luminosité n'est pas hors de proportion avec celle du vermillon ou du bleu d'outremer, si nous adoptons pour types les luminosités des couleurs correspondantes du spectre. C'est donc ailleurs qu'il nous faut chercher la raison de l'énergie peu ordinaire de son action. Pour notre part, nous sommes disposé à attribuer cette intolérance bien connue de tous les verts francs à ce que la lumière verte épuise les forces nerveuses de l'œil plus vite que la lumière de toute autre couleur. Cet épuisement est prouvé par le fait que les images secondaires ou couleurs accidentelles sont plus vives avec le vert qu'avec les autres couleurs (voy. le chapitre VIII). Or, comme règle générale, les sensations très-fortes déplaisent lorsqu'elles sont réparties avec une certaine fréquence

parmi d'autres sensations plus faibles; ainsi Helmholtz a prouvé que le désaccord en musique est dû à l'existence de *battements,* lesquels sont simplement des alternances rapides de sons et de silences, se suivant à des intervalles qui permettent à la sensibilité de l'oreille de conserver son maximum, et qui par conséquent produisent des sensations d'une intensité désagréable. Un effet du même genre est produit par l'action d'une lumière vacillante, laquelle est à la fois désagréable et fatigante pour l'œil. Ce principe général, ce nous semble, s'applique aussi à la question actuelle : un vert qui peut être l'équivalent optique d'un rouge, d'un jaune, d'un bleu ou d'un violet, produit néanmoins sur les nerfs de l'œil une sensation plus vive et plus fatigante que ces couleurs, et par conséquent est en désaccord avec elles. En outre, et en laissant de côté ces considérations, le vert n'est pas une couleur qui rappelle la lumière ou la chaleur; c'est ce que les peintres appellent une couleur froide; l'action particulière dont nous venons de parler le rend intense aussi bien que froid, et par conséquent les peintres ne peuvent s'en servir qu'avec beaucoup de ménagements. Le jaune nous donne l'idée de lumière, le rouge celle de chaleur; si dans un tableau il y a trop de l'un ou de l'autre, cela nuit nécessairement à l'effet général; mais un petit excès de vert suffit pour tuer un tableau.

Après le vert, la couleur qui agit avec le plus de force sur les nerfs de l'œil est le violet; ensuite vient le violet bleu (bleu d'outremer artificiel). Il se trouve que, parmi les matières colorantes dont dispose le peintre ou le décorateur, le violet n'est représenté que par des substances ternes; il est donc un peu moins facile de pécher par son emploi que par celui du vert, car, pour obtenir un violet qui puisse prétendre à être l'équivalent optique du vermillon ou du vert émeraude, il faut avoir recours aux couleurs d'aniline. Le violet bleu ou le bleu d'outremer artificiel donne facilement des combinaisons froides et dures, et les surfaces un peu étendues qui en sont couvertes paraissent souvent désagréables si la nuance est un peu vive. Les ciels d'un bleu trop intense deviennent facilement mauvais, et les fautes dans ce sens ne se voient pas que dans les œuvres des commençants ou des amateurs.

Si l'on range les couleurs d'après l'ordre dans lequel elles épuisent les forces nerveuses de l'œil, on verra que le vert est en tête de la liste; le violet, le violet bleu et le bleu viennent ensuite; puis suivent le rouge et l'orangé, et enfin le jaune. C'est à peu près là aussi

l'ordre dans lequel nous pouvons tolérer les couleurs positives d'une peinture ou en jouir : le rôle des grandes masses de nuances jaunes ne semble souvent être que de donner de la luminosité à l'ensemble, tandis que les nuances de l'orangé ou de l'orangé rouge, rendues un peu sombres, prennent le nom de brun et ne sont guère considérées comme plus positives que des gris chauds. Mais il ne faudrait pas en conclure que l'introduction dans un tableau de grandes masses de vert positif doive toujours être évitée ; seulement nous ne la conseillons que si elle peut se faire *avec succès* et sans nuire à l'effet chromatique de l'ensemble. L'habileté avec laquelle un peintre sait résoudre ce problème est un des signes qui indiquent un coloriste accompli ; et, si le vert se combine avec du bleu, la tâche devient plus difficile encore, et le succès n'en est que plus méritoire. Mais l'emploi des combinaisons du jaune terne, du brun, du gris ou du gris bleuâtre est bien plus facile, et c'est en réalité le premier pas par lequel les commençants doivent s'approcher des couleurs plus positives.

Nous l'avons déjà dit, le contraste défavorable est une des raisons qui rendent souvent mauvaises certaines combinaisons de couleurs ; nous en citerons comme exemples l'orangé et le carmin, le jaune et le vert jaunâtre, le vert et le bleu cyané. Toutes les couleurs du diagramme des contrastes (fig. 131) dont la distance angulaire est de moins de 80 ou 90°, sont plus ou moins dans le domaine du contraste défavorable. Ces effets deviennent encore plus prononcés lorsque les couleurs ont des luminosités qui s'écartent notablement de celles que présente le spectre, où le jaune est la couleur la plus brillante, et le violet la plus sombre (voy. chap. III). Toutefois il existe plusieurs manières de mitiger beaucoup les effets du contraste défavorable : l'une des plus usitées consiste à rendre une des couleurs ennemies plus foncée que sa rivale, ou à lui attribuer un espace bien plus petit ; on fait aussi quelquefois intervenir une troisième couleur située fort loin des deux autres sur le cercle chromatique. Par exemple, le jaune et le vert jaunâtre gagnent à ce qu'on ajoute à leur combinaison une petite quantité de violet ou de violet pourpré ; de même encore, il y a avantage à ajouter du pourpre ou de l'orangé à la combinaison du vert et du bleu cyané. Le contraste défavorable des couleurs peut aussi quelquefois être dissimulé par un effet marqué de clair obscur, ou par une longue série de gradations, qui tend à permettre à toutes les couleurs de résister à son influence ; la beauté et la variété des formes peuvent aussi jusqu'à un certain point en masquer les effets.

Ajoutons qu'une fidélité évidente à reproduire la nature fait quelquefois pardonner ou excuser un contraste défavorable; au contraire, des teintes impures ou sales, des couleurs ou des formes en contradiction avec la nature, des touches indécises, le rendent bien plus difficile à supporter.

Une combinaison peut aussi être très médiocre parce que les intensités réelles des deux couleurs sont trop différentes, bien que leur position sur le cercle chromatique soit avantageuse; par exemple, l'introduction dans une peinture d'une grande quantité de jaune de chrome produit un effet dur, que l'on éviterait en employant l'ocre jaune, qui est plus modeste. Lorsque ce défaut est très marqué, la couleur disparate frappe ordinairement tout d'abord l'œil du spectateur, avant qu'il ait bien vu aucune des autres couleurs. C'est une chose difficile que de réussir à appuyer sans exagération sur telle ou telle couleur, et tout manque de tact en ce genre produit dans une peinture un effet comparable à celui que produit le défaut de mesure chez celui qui lit à haute voix ou qui déclame un morceau.

Une combinaison peut encore être médiocre parce qu'elle ne contient aucun représentant bien marqué des couleurs chaudes, en comprenant parmi celles-ci le jaune et le pourpre, avec les couleurs intermédiaires. Il y a lieu de croire que les couleurs chaudes dominent réellement dans les peintures les plus attrayantes et les plus brillantes; mais, quoi qu'il en soit, il est certain que les compositions qui s'appuient presque exclusivement sur les couleurs les plus froides, telles que le vert jaunâtre, le vert, le bleu et le violet, semblent médiocres, et éveillent presque toujours dans l'esprit du spectateur un sentiment de mécontentement plus ou moins prononcé. La préférence générale pour les couleurs chaudes est un peu analogue à celle qui se manifeste pour les aliments dont le goût est plutôt sucré qu'amer; mais, quelque intéressante que puisse être la recherche des causes antérieures qui ont amené ce résultat, elle ne nous serait évidemment que d'un faible secours pour le sujet qui nous occupe ici; nous nous contenterons donc d'accepter le fait, et d'en tirer tout le parti que nous permettront notre habileté et notre sentiment des couleurs.

Nous avons jusqu'ici considéré les effets que produisent les combinaisons des couleurs deux à deux; mais on peut aussi les combiner trois à trois. Grâce aux études que nous avons faites avec le diagramme des contrastes (fig. 131), il ne nous sera pas difficile de choisir une série de combinaisons ternaires qui ne présentent pas de contraste

défavorable : il suffira pour cela de prendre des couleurs équidistantes entre elles sur le diagramme, c'est-à-dire séparées par un angle de 120° ; et, si nous examinons les combinaisons ternaires les plus employées par les peintres et les décorateurs, nous reconnaîtrons que cette règle a réellement été suivie avec plus ou moins de fidélité. Voici les combinaisons ternaires qui ont été le plus employées :

Rouge spectral, jaune, bleu ;
Rouge pourpre, jaune, bleu cyané ;
Orangé, vert, violet;
Orangé, vert, violet pourpre.

Dans la seconde combinaison ternaire, les couleurs se trouvent presque exactement à 120° l'une de l'autre ; dans la première, le jaune est à un peu moins de 90° du rouge, et forme en réalité avec lui une combinaison douteuse, qui n'est rendue bonne que par la présence du bleu. Dans la troisième combinaison ternaire, l'orangé et le violet sont à environ 90° l'un de l'autre, mais sont tous deux presque également distants du vert, avec lequel chacun d'eux forme une bonne combinaison.

Dans le choix des couleurs pour ces combinaisons, un autre principe encore semble avoir guidé les peintres : ils ont évidemment visé dans chaque cas à ce que deux des couleurs fussent des couleurs *chaudes*, et, dans deux des combinaisons, l'effet de contraste a été un peu sacrifié pour atteindre ce but. Le désir de satisfaire à ces deux conditions à la fois limite nécessairement beaucoup le nombre des combinaisons ternaires, comme le montre l'examen du diagramme des contrastes ; et, en réalité, dans certaines combinaisons ternaires inférieures qui ont été employées, l'un de ces principes, ou tous deux à la fois ont été nécessairement fort négligés.

La combinaison

Carmin, jaune et vert

était, selon Brücke, fort employée au moyen âge, bien que cette combinaison nous paraisse un peu dure et grossière. Nous avons ici deux couleurs chaudes, mais aussi l'effet de contraste est sacrifié deux fois : d'abord légèrement entre le carmin et le jaune, et d'une manière plus marquée entre le jaune et le vert.

La combinaison

Jaune orangé, violet et vert bleuâtre

est une combinaison médiocre, non par effet de contraste, mais parce qu'elle contient deux couleurs froides, dont l'une est la plus froide que contienne le cercle chromatique.

La combinaison

Vermillon, vert et bleu violet

a été fort employée dans quelques-unes des écoles italiennes. Il semble à première vue que nous ayons ici deux couleurs froides ; mais, comme le vert était un vert olive, la combinaison est réellement la même que

Vermillon, jaune verdâtre foncé et bleu violet,

et correspond en principe à celle que nous avons indiquée ci-dessus.

En employant une quelconque de ces combinaisons ternaires, pour la peinture ou l'ornement, le peintre peut évidemment faire varier la nuance des trois couleurs dans les limites du petit intervalle sans détruire le caractère défini de la composition chromatique ; il peut aussi y ajouter de petites quantités de couleurs étrangères. Mais, lorsque ces couleurs prennent une certaine importance dans la combinaison, elles en détruisent le caractère particulier. On peut y introduire du blanc ou du gris, qui font souvent très-bon effet, surtout dans les combinaisons

Orangé, vert, violet;
Rouge pourpre, jaune, bleu cyané.

Il est à peine nécessaire d'insister sur l'avantage qu'il y a à étudier les rapports des couleurs entre elles en combinaisons binaires et ternaires avant d'essayer d'assemblages plus compliqués. Un grand nombre de couples nous fournissent de très belles compositions chromatiques, et nous ne saurions trop recommander l'étude pratique des couleurs en combinaisons binaires et ternaires. Lorsqu'on entreprend une composition chromatique, il est aussi d'une importance majeure de déterminer dès le début quels en seront les éléments principaux ; cela fait, il sera relativement facile de voir quelles variations sont permises et quelles autres doivent être interdites. Les compositions les plus frappantes et les plus belles ne sont pas du tout celles qui contiennent le plus de couleurs ; on arrive à des effets bien plus puissants en employant un très petit nombre de couleurs convenablement choi-

sies, variées et répétées avec différentes nuances, depuis la plus lumineuse jusqu'à la plus foncée.

Après avoir ainsi examiné en détail les combinaisons bonnes ou mauvaises des couleurs, nous devons ajouter ici un mot sur l'équilibre des couleurs, car il est bon que nous sachions non seulement bien choisir nos couleurs, mais encore les employer dans les proportions qui peuvent donner le meilleur effet. Parmi les écrivains anglais qui ont traité cette question, la plupart enseignent que pour obtenir les meilleurs résultats il faut que les surfaces occupées par les diverses couleurs d'un tableau soient entre elles dans un rapport tel que leur mélange pût donner du gris naturel. Il est bien vrai qu'une telle répartition des couleurs donnerait l'équilibre dans le sens optique de ce mot ; mais y aurait-il pour cela équilibre esthétique? Ce n'est nullement prouvé. Dans sa « Théorie des couleurs », M. Field, après avoir donné certaines règles pour obtenir l'équilibre optique, admet *à priori* que l'équilibre optique et l'équilibre esthétique sont une seule et même chose. Il dit, par exemple, que si l'on prend du rouge, du jaune et du bleu de même intensité, 5 parties de rouge, 3 de jaune et 8 de bleu se neutraliseront dans un mélange et produiront du gris ; de même, 8 parties d'orangé avec 11 de vert et 13 de pourpre produiront le même résultat ; de même encore pour 19 parties de couleur citrine, — composé d'orangé et de vert, — 21 de roussette — orangé et pourpre — et 24 parties d'un mélange de vert olive et de pourpre. Ces règles sont fondées sur l'hypothèse que le rouge, le jaune et le bleu sont les sensations de couleur fondamentales, et que leur mélange donne du blanc, hypothèse tout à fait inexacte, comme nous l'avons vu au chapitre IX. Dans un mélange de rouge, de jaune et de bleu, le jaune neutralise le bleu, puisque ces couleurs sont complémentaires, et le rouge qui se trouve en plus modifie vivement la lumière grise ou blanche qui résulte des deux premières, et lui donne une teinte rougeâtre très marquée. M. Field a fait ses expériences sur le mélange des couleurs en faisant passer de la lumière blanche à travers des coins de verre creux remplis de liquides colorés ; mais nous avons vu au chapitre X qu'il est impossible de mélanger ainsi des faisceaux de lumière colorée. Ainsi la lumière qui traverse un coin jaune et un coin bleu juxtaposés, est simplement celle qui n'est absorbée ni par l'un ni par l'autre de ces coins, c'est-à-dire celle que tous deux laissent passer. Tous deux laissent passer de la lumière verte, et arrêtent presque tous les autres rayons ; mais il n'est pas permis d'en con-

clure, avec M. Field, que la lumière jaune et la lumière bleue donnent par leur mélange de la lumière verte, puisque nous savons de la manière la plus certaine que ces deux lumières colorées donnent en se mélangeant de la lumière grise ou blanche. La méthode de M. Field donne des résultats absolument faux, et les conclusions qu'il fonde sur ces résultats, y compris ses soi-disant « équivalents chromatiques », n'ont par conséquent à nos yeux ni sens ni valeur.

Revenons maintenant à la règle d'après laquelle on obtient le meilleur effet lorsque les couleurs d'un tableau y entrent en proportions telles que leur mélange complet devrait donner un gris neutre. Il est très facile, avec ce que nous savons maintenant, de déterminer la grandeur qu'il faut assigner à deux surfaces colorées ou à un plus grand nombre pour produire cet effet. Il suffit de combiner d'après la méthode de Maxwell des disques tournants peints des couleurs qui doivent entrer dans le tableau projeté. Examinons la question à l'aide de quelques exemples empruntés à la réalité. Si nous prenons la première combinaison ternaire — rouge spectral, jaune et bleu — nous voyons qu'il n'est pas possible d'en mélanger les couleurs de façon à obtenir un gris neutre : le jaune et le bleu se neutralisent entre eux, et le rouge colore leur mélange d'une teinte rougeâtre. Il en est de même de la combinaison carmin, vert et jaune : leur mélange sera orangé, jaunâtre ou jaune verdâtre, suivant les proportions employées. Avec les deux combinaisons rouge pourpre, jaune et bleu cyané ; et orangé, vert et violet, la neutralisation par voie de mélange est possible ; la première des deux est plus agréable que la seconde. Si nous considérons des combinaisons ternaires peu employées en peinture, les résultats sont à peu près les mêmes ; par exemple, le vermillon, le vert et le bleu d'outremer, lorsqu'ils sont combinés dans des proportions qui donnent du gris, produisent un effet fort désagréable, parce que les couleurs froides sont grandement en excès. Mais il est inutile de multiplier les exemples, parce que le lecteur peut facilement faire lui-même ces expériences. Si nous examinons les superficies et les intensités des couleurs dans les œuvres des bons coloristes, nous verrons qu'en général elles ne donneraient pas le gris neutre par le mélange des couleurs, et qu'au contraire, comme dans la plupart des expériences décrites ci-dessus, il y a toujours un excès de quelque couleur positive. La présence de cet excès donne à la composition un caractère particulier, qui varie avec la teinte ainsi en excès. Nous voyons donc que ce problème de l'équilibre des couleurs ne peut être résolu

d'une manière exacte par aucune série de règles, mais doit être laissé au sentiment et au goût de l'artiste.

On a plusieurs fois essayé d'établir des théories des couleurs sur certaines analogies avec le son. Mais la sensation du son se rattache plus spécialement à l'idée de temps, et celle de la vision à l'idée d'espace ; il en résulte une différence fondamentale entre les organes consacrés l'un à la réception des ondes sonores, et l'autre à celle des ondes lumineuses, de sorte que toutes les théories empruntées à la musique sont absolument sans valeur. Par exemple, notre perception des couleurs ne comprend pas même une seule octave, tandis qu'en musique nous nous servons de sept octaves. Le mélange de deux sons musicaux nous donne un accord ou un désaccord, et l'oreille de tout musicien exercé reconnaît les notes différentes qui y entrent ; mais le mélange de deux faisceaux de lumière colorée produit une couleur nouvelle, dont les éléments primitifs ne sauraient être distingués même par l'œil d'un peintre. Ainsi, la lumière rouge et la lumière verte, en se mélangeant, donnent de la lumière jaune ; et ce jaune ne peut en aucune façon se distinguer de la lumière jaune du spectre, si ce n'est parce qu'il est un peu plus pâle et qu'il semble mélangé d'une certaine quantité de lumière blanche. En musique, les *intervalles* sont des rapports définis et faciles à reconnaître, comme par exemple celui de la note fondamentale avec sa quinte ou son octave ; nous pouvons calculer les intervalles correspondants pour la lumière colorée, mais ils ne sauraient être reconnus d'une manière exacte, même par le peintre le plus habile. Dans la peinture, nous sommes sans cesse obligés de passer d'une couleur à une autre par des degrés insensibles ; mais, si nous voulons procéder de même en musique, nous obtenons les sons les plus burlesques. Ces faits, qui peuvent être démontrés de la manière la plus rigoureuse, suffisent sans doute pour faire voir qu'il existe une différence fondamentale entre la vue et l'ouïe, et que toute théorie des couleurs qui serait fondée sur ce que nous apprend la musique, aurait pour base notre imagination plutôt que des faits réels.

CHAPITRE XVIII

DE L'EMPLOI DES COULEURS POUR LA PEINTURE ET LA DÉCORATION

La perception des couleurs n'est pas une des facultés les plus indispensables de notre race ; quand même nous en serions privés, nous pourrions encore non seulement exister, mais même arriver à un haut degré de culture intellectuelle et esthétique. Des yeux qui ne pourraient percevoir que la lumière et l'ombre seraient presque toujours suffisants dans la pratique, et nous révèleraient encore dans l'univers matériel un degré de beauté qui dépasserait de beaucoup notre faculté perceptive. « Mais nous avons reçu en outre un don de plus, une faculté qui n'est pas indispensable et que nous pourrions appeler un bonheur véritable, dans la faculté de percevoir les couleurs et d'en jouir [1]. » Il n'est pas juste de dire que sans ce don la nature nous aurait paru froide et nue ; mais sans lui nous aurions perdu le plaisir que procure la multitude si variée des sensations douces et agréables auxquelles les couleurs et leurs combinaisons donnent naissance ; la draperie magique dont elles revêtent le monde visible serait remplacée uniquement par les gradations plus simples et plus logiques de la lumière et de l'ombre. L'amour des couleurs fait partie de notre nature tout aussi bien que celui de la musique ; il se développe de bonne heure dans notre enfance, et nous le trouvons chez les races sauvages ainsi que chez les races civilisées. L'amour des couleurs se manifeste et se fait sentir là où nous l'attendons le moins ; les plus profonds mathématiciens eux-mêmes ne se fatiguent jamais d'étudier les couleurs de la lumière polarisée, et il est certain que l'attrait exercé par les couleurs n'a pas peu contribué à grossir le nombre des

1. Discours de M. le professeur Stephen Alexander.

traités consacrés à l'étude mathématique de ce sujet. Le spectre solaire a été, bien des années avant les découvertes de Kirchhoff et de Bunsen, un sujet favori d'études pour les physiciens ; cette affection a dû attendre près d'un demi-siècle avant d'obtenir sa récompense : mais s'il n'avait eu le charme de ses couleurs, s'il avait été moins étudié, le spectre serait peut-être resté pour nous une énigme pendant un siècle de plus.

La couleur est moins importante que la forme, mais elle lui prête un charme particulier. Si un peintre a mal vu ou mal représenté la forme, il nous semble que « les bases mêmes sont ébranlées ; » si la couleur est mauvaise, nous sommes simplement rebutés. La couleur n'est d'aucun secours pour faire reconnaître la forme ; elle l'orne et en même temps la déguise légèrement ; nous consentons à perdre un peu du modelé d'un beau visage en faveur des gradations de couleurs qui l'ornent et l'embellissent.

Le but de la peinture et celui de l'art décoratif sont bien différents l'un de l'autre, et, comme conséquence logique, il en résulte que la manière dont ils emploient la couleur est essentiellement différente. Le but de la peinture est de produire, au moyen des couleurs, des représentations plus ou moins parfaites des objets réels. Ces tentatives sont toujours faites sérieusement ; je veux dire qu'elles sont toujours accompagnées d'un effort énergique pour réussir. Si le travail est fait directement d'après nature et qu'il soit en même temps compliqué, le peintre cherchera à représenter, non tous les faits que lui présente son modèle, mais seulement une certaine catégorie de faits, ceux qu'il considère comme les plus importants, les plus pittoresques ou le mieux en harmonie entre eux. S'il ne s'agit que d'une simple esquisse, elle contiendra bien moins de faits ; enfin une note jetée rapidement sur la toile ne contiendra peut-être que quelques indications appartenant à une seule catégorie. Mais dans tout ce travail, qui semble négligé et imparfait, le peintre s'occupe réellement d'une manière sérieuse de la forme, de la lumière, de l'ombre et de la couleur, et ce qu'il met de conventionnel dans son œuvre est exigé par le manque de temps ou par le choix de certaines catégories de faits à l'exclusion des autres. Il en est de même de la peinture d'imagination : la forme, la lumière, l'ombre et la couleur sont celles qui pourraient exister ou dont on pourrait imaginer l'existence ; rien n'est en contradiction avec nos idées fondamentales sur ces détails. Il en résulte que le peintre n'est pas libre dans le choix de ses teintes ; il ne peut

guère se servir que des couleurs pâles et peu saturées de la nature, et il est souvent forcé d'avoir recours à des combinaisons de couleurs que le décorateur rejetterait assurément. Le peintre tire un parti énorme des gradations de lumière, d'ombre et de couleurs ; il cherche à exprimer la distance, et s'efforce de faire pénétrer l'œil au delà de la surface de ses couleurs ; il aime à dissimuler en quelque sorte la couleur elle-même, et à laisser le spectateur dans le doute sur sa nature.

Le décorateur, au contraire, cherche plutôt à embellir une surface à l'aide d'une couleur qu'à représenter les objets naturels. Il se sert souvent des couleurs les plus riches et les plus intenses, et en rehausse encore l'effet par l'emploi fréquent de l'or et de l'argent ou du blanc et du noir ; il choisit toujours les combinaisons les plus belles et les plus frappantes, et ne cherche jamais sérieusement à faire pénétrer la vue plus loin que la surface. Il évite la représentation exacte des objets naturels, et y substitue des formes conventionnelles qui servent à varier les effets, et fournissent une excuse pour l'introduction de couleurs qui seraient belles par elles-mêmes et indépendamment de l'objet représenté. La représentation exacte et vraie des objets naturels marque le déclin et la décadence de l'art décoratif. Un tableau est une représentation d'un objet absent ; une surface ornée est essentiellement, non la représentation d'un bel objet absent, mais ce bel objet lui-même ; nous n'aimons pas à le voir renoncer à son indépendance capricieuse, et vouloir en même temps être la représentaton et la réalité. Dans l'ornementation, la couleur sert à produire un résultat qui charme, tandis que dans la peinture le but de l'artiste peut être de représenter la douleur ou même une scène tragique. De tout cela il résulte que le décorateur jouit dans la disposition des éléments de ses compositions d'une liberté qui est refusée au peintre, forcé par sa profession de traiter la nature avec un certain degré de respect, au moins apparent. Mais, une fois que le plan général de sa composition est arrêté, le décorateur est moins libre que ne pourrait le supposer un observateur superficiel, de se livrer à sa fantaisie et à son sentiment poétique. Ce ne sont point des règles artistiques ou scientifiques qui le guident dans sa route, mais bien le goût et le sentiment de la couleur dont il peut être doué, et le désir d'obtenir le meilleur résultat possible dans les conditions données. En réalité, la couleur ne peut être employée avec succès que par ceux qui l'aiment pour elle-même indépendamment de la forme, et

chez lesquels le talent de la couleur est développé d'une manière distincte; l'éducation ou l'observation des règles ne peut compenser ou dissimuler l'absence de cette faculté chez les individus, quoi qu'elle puisse faire pour l'éducation graduelle de la race sous ce rapport.

De tout ce qui précède il ressort clairement que le rôle de la couleur dans la décoration et dans la peinture est essentiellement différent : dans celle-ci, la couleur est avant tout un moyen, tandis que dans celle-là elle est pour ainsi dire le seul but. Les rapports entre la décoration et la peinture sont très nombreux, et la manière d'employer la couleur varie beaucoup, suivant qu'il s'agit simplement d'ornementation ou d'une des phases où celle-ci se confond avec la peinture.

La forme la plus simple d'ornementation par la couleur nous est offerte par les cas où des surfaces reçoivent une couche uniforme de couleur destinée à en rendre l'aspect plus attrayant : tels sont les tissus teints d'une couleur uniforme, plus ou moins brillante, les édifices peints de diverses couleurs douces, les meubles et les étoffes dont ils sont recouverts.

L'emploi de plusieurs couleurs sur la même surface donne naissance à un genre d'ornementation plus compliqué. Sa forme la plus simple consiste en raies de couleur ou en dessins géométriques composés de carrés, de triangles ou d'hexagones. Ici l'artiste jouit d'une entière liberté pour le choix des couleurs, les surfaces qu'elles revêtent ayant la même forme et les mêmes dimensions, et par suite le même degré d'importance. En pareil cas, la composition chromatique dépend entièrement du goût et de la fantaisie du décorateur, qui est bien moins gêné dans son choix qu'avec des surfaces de dimensions inégales et par conséquent d'importance différente. Après ces dessins, les plus simples de tous, en viennent d'autres plus compliqués — arabesques, combinaisons de fantaisie de lignes droites et de courbes, ou simples inspirations fournies par des feuilles, des fleurs, des plumes et d'autres objets. Même pour ces dernières, le choix des couleurs n'est pas nécessairement influencé par les couleurs réelles des objets représentés, mais il est plutôt réglé par des considérations artistiques, à tel point que les véritables couleurs des objets sont souvent remplacées même par l'argent ou l'or. Un pas de plus en avant nous amène aux objets naturels, feuilles, fleurs, figures d'hommes ou d'animaux, employés comme ornements, mais traités d'une manière conventionnelle, en tenant un certain compte, cependant, de leurs couleurs naturelles ou

locales, ainsi que de leurs formes réelles. Dans ces compositions, l'emploi de l'or ou de l'argent pour le fond ou pour les lignes, et l'emploi constant de contours plus ou moins marqués, l'absence d'ombres et le dédain bien franc des couleurs locales partout où elles ne conviennent pas au peintre, tout en un mot atteste qu'il ne s'agit que de décoration. Jusque-là, le peintre est toujours guidé dans le choix de ses couleurs par le désir de faire une composition chromatique qui charme par la douceur et le moelleux de ses teintes, ou qui éblouisse par l'éclat et la richesse des couleurs qu'il déploie; aussi dispose-t-il souvent les nuances intenses et saturées de manière à les faire paraître par contraste plus brillantes encore; l'or et l'argent, le noir et le blanc viennent ajouter à l'effet; toutefois le peintre ne cherche point à imiter la nature au point de vue de la réalité. Mais, si nous poussons un peu plus loin, et que nous voulions reproduire exactement les objets naturels, tout change à l'instant : dès que nous voyons des groupes de fleurs dessinées avec fidélité et revêtues de leurs couleurs naturelles, des images correctes d'animaux ou d'êtres humains, des paysages ou des vues de villes, nous pouvons être certains que nous avons quitté le domaine de l'ornementation véritable pour pénétrer dans une tout autre région de l'art. Une grande partie de notre décoration moderne en Europe est réellement de la peinture — hors de sa place.

Disons maintenant quelques mots de la monochromie ou décoration d'une seule couleur. Pour éviter la monotonie attachée à l'emploi d'une surface colorée uniforme, on a très souvent recours à des nuances plus ou moins foncées de la même teinte. Ces nuances donnent plus de variété à l'aspect général de la surface, et permettent en même temps d'introduire divers ornements, des bordures, des rosaces, etc. Il y a avantage à se servir de la monochromie quand on veut éviter d'une part l'éclat qui accompagne l'introduction de plusieurs couleurs distinctes, et de l'autre l'aspect terne qui résulte de l'emploi exclusif d'un seul ton. On s'en sert beaucoup pour la peinture des murailles, pour les tissus destinés aux vêtements ou aux meubles, et dans un grand nombre d'autres cas.

Dans les peintures monochromes, on tire très souvent parti du petit intervalle : par exemple, un peintre qui se sert du rouge choisira pour les nuances claires un rouge légèrement plus orangé que le fond général; pour les nuances foncées, un rouge un peu plus pourpré. Dans l'emploi du petit intervalle, il y a lieu de tenir compte des teintes que prend la couleur suivant qu'elle est plus ou

moins éclairée; ce point est pleinement expliqué au chapitre XVII. On peut encore rehausser les peintures monochromes par des ornements tracés en or, soit seul soit uni à une petite quantité de couleur positive. Mais il est mieux d'éviter l'emploi du noir et du blanc. parce qu'il produirait par contraste des couleurs qui nuiraient à l'effet général (voy. le chapitre du contraste).

Dans l'ornementation polychrome, l'artiste emploie à la fois plusieurs couleurs distinctes, en y ajoutant, s'il le juge à propos, de l'or et de l'argent, du blanc et du noir. Nous avons déjà donné au chapitre XVII les règles qui doivent le guider dans le choix des couleurs pour ce genre d'ornementation. On réserve souvent les couleurs intenses et saturées pour les surfaces les moins étendues, en leur opposant des couleurs moins intenses dont on revêt les surfaces plus considérables. La polychromie purement décorative nous présente surtout des combinaisons des couleurs les plus riches et les plus belles figurant des ornements de fantaisie ; les objets naturels, si par hasard ils y occupent une place, y sont toujours traités d'une manière conventionnelle. Mais, dans la composition de ces ornements. le peintre tient nécessairement compte de la forme et de l'étendue des espaces que les couleurs doivent occuper; le meilleur système consiste à exécuter les grandes masses de la composition en couleurs d'une intensité convenable, qui constituent par elles-mêmes un large dessin général, sur lequel d'autres dessins plus petits de la même couleur et de couleurs différentes viennent s'ajouter. Comme le dit fort bien M. Owen Jones [1], « le secret du succès consiste dans la production d'un effet général par la répétition d'un petit nombre d'éléments simples, en cherchant la variété plutôt dans l'arrangement des différentes parties de l'ensemble que dans la multiplication des formes diverses. »

La bonne polychromie tire un grand parti des lignes de contour; elle les emploie à séparer les ornements du fond sur lequel ils se trouvent, surtout lorsque la différence de couleur entre les ornements et le fond n'est pas très marquée. D'un autre côté, les contours empêchent les couleurs très différentes de se fondre l'une dans l'autre et de produire des teintes de mélange ; en d'autres termes, le contour qui limite un ornement maintient chaque couleur à sa place. Les contours dont on se sert dans ce but peuvent être clairs ou foncés, ou

1. *Grammar of ornament*, Londres, 1856.

même noirs. Si l'ornement est plus clair que le fond, le contour devra être encore plus clair; si l'ornement est plus foncé, le contour sera plus foncé encore. Dans la bonne décoration, les figures d'hommes et d'animaux qu'on y fait entrer sont entourées de contours marqués, pour bien indiquer qu'il ne s'agit pas de les représenter telles qu'elles sont dans la nature. On trace aussi les contours en blanc ou en or; ils deviennent alors une partie indépendante de l'ornementation. On emploie souvent des contours composés de plusieurs lignes d'or et d'argent, de blanc et de noir pour séparer des couleurs qui ne vont pas très-bien ensemble, bien que, considérées d'une manière générale, elles puissent appartenir au même tout. Ces contours prononcés ne sont jamais destinés à disparaître quand on les regarde de loin, mais forment un nouvel élément décoratif, de sorte que leurs formes peuvent souvent s'écarter plus ou moins de celles des espaces qu'ils enveloppent.

Dans la polychromie très riche, les figures sont surtout exécutées en couleurs intenses ou saturées, et rehaussées d'or et d'argent, de blanc et de noir. On y introduit peu de teintes foncées et pâles proprement dites; celles qui s'y trouvent sont produites par des lignes noires ou blanches sur le fond coloré. De même, les variations des couleurs dominantes s'obtiennent, non en y introduisant des nuances nouvelles, mais en mettant de petites quantités de couleur pure sur un fond de couleur différente; les deux couleurs se fondent alors sur la rétine du spectateur et donnent naissance à la couleur voulue. Nous avons remarqué, par exemple, sur un tapis de table du Caire d'un dessin très riche, que l'emploi de lignes blanches très fines sur un fond bleu produisait l'apparence d'un bleu plus clair, qui persistait à distance; sur la bordure, un rouge pur prenait un aspect rouge orangé, grâce à la présence de lignes jaunes; dans d'autres parties, de petits ornements rouges et blancs sur fond bleu produisaient de loin l'effet d'une teinte violet clair.

Dans la magnifique décoration de l'Alhambra, les couleurs employées dans le stuc sont le rouge, le bleu et l'or; le pourpre, l'orangé et le vert ne se trouvent que dans les dados de mosaïque. Les couleurs sont ou séparées directement par d'étroites lignes blanches, ou indirectement par les ombres que donnent les ornements en saillie. Les masses colorées ne se trouvent nulle part en contact. Néanmoins le bleu et l'or sont souvent entrelacés à dessein, de manière à produire de loin une douce teinte violette; sur ce fond sont tracés des dessins

or et rouges, ceux en or bien plus grands que les rouges ; ou quelquefois encore on trouve sur le même fond des figures en blanc avec de petites touches de rouge. La règle que nous avons indiquée plus haut pour la production de nouvelles couleurs est constamment suivie : le bleu et le blanc se fondent en bleu clair ; le bleu, le blanc et le rouge donnent une teinte claire violette ou pourpre ; le rouge et l'or se fondent en un riche orangé adouci. Quelquefois l'or domine dans ces ornements, comme on le voit dans la salle des Ambassadeurs ou dans la cour des Lions ; ce sont alors des masses de dessins d'or merveilleux, incrustées seulement de petites portions de rouge et de bleu. Sur les dados, les mosaïques sont souvent composées de pourpre rouge, de vert, de jaune orangé et d'un bleu foncé peu intense, sur fond gris ; d'étroits contours blancs séparent les figures colorées du fond. A cette série vient quelquefois s'ajouter du bleu clair ; il y a aussi des combinaisons de jaune orangé, de bleu foncé et de vert ou de pourpre ; du bleu foncé avec du jaune orangé, ou simplement du jaune orangé et de petits espaces de bleu foncé, le fond étant toujours un gris adouci. L'effet général de la couleur des mosaïques est frais et un peu maigre ; il repose l'œil de la vue des splendeurs prodiguées au-dessus, ou le prépare par contraste à une jouissance nouvelle.

La polychromie véritable n'a pas été cultivée avec beaucoup de succès en Europe depuis l'époque de la Renaissance, parce qu'elle a été presque partout supplantée par la peinture. Depuis les temps modernes, non seulement nos porcelaines, nos tapis, nos stores, mais encore les murs mêmes, et en un mot tout ce qu'il est possible de décorer, sont couverts de bouquets, de groupes de figures, de paysages, de specimens d'architecture, de copies de tableaux célèbres, tous exécutés avec autant de fidélité prétendue que l'acheteur veut bien en payer. Il est à peine nécessaire d'ajouter que le goût qui produit ou qui demande des ornements si faux peut bien être excusable, mais n'a que peu de raisons en sa faveur ; et nous ne pouvons guère espérer de progrès général tant que le public ne saura pas mieux faire la différence entre la vraie décoration et la vraie peinture.

Dans l'art décoratif, la couleur est un élément plus important que la forme ; il est essentiel que les lignes soient gracieuses et montrent de l'imagination ou même un sentiment poétique, mais nous n'exigeons pas, nous ne désirons même pas qu'elles expriment la forme

au point de vue de la réalité. Pour la peinture, c'est le contraire : la couleur y est subordonnée à la forme. Malgré cela, la première conserve encore une très grande importance, et c'est perdre son temps que de vouloir orner par la couleur ce qui n'est réellement qu'un effet d'ombre et de lumière. Les compositions chromatiques d'un tableau doivent être tout d'abord l'objet de l'attention la plus minutieuse; sans cela il vaut mieux se contenter du blanc et du noir.

Voici à peu près les anneaux de la chaîne qui rattache les dessins au crayon ou à la plume, qui expriment simplement les effets de lumière et d'ombre, aux peintures proprement dites : le premier se compose des œuvres faites essentiellement avec une seule teinte, mais avec des nuances infinies. Cette méthode donne au travail un éclat lumineux particulier, que n'offrent jamais les dessins où il n'entre que du blanc et du noir, ou même une teinte unique. Comme exemples de ces œuvres, nous pouvons citer les dessins à la sépia ou au bistre, dans lesquels on varie les nuances en y introduisant par-ci par-là des quantités différentes de quelque autre brun de nuance rougeâtre, jaunâtre ou orangée. Le degré suivant nous offre l'emploi essentiel de teintes bleuâtres et brunâtres. S'il s'agit d'un paysage, les lointains et une grande partie du ciel seront bleu grisâtre; les premiers plans, au contraire, seront d'un brun chaud et riche, relevé çà et là par quelques touches d'une couleur plus positive. Le bleu des derniers plans sera diversement modifié, prendra souvent une teinte verdâtre, et sera remplacé par une teinte jaunâtre pour les parties les plus éclairées. Le peintre ne cherche pas en réalité à rendre exactement les couleurs naturelles des objets qu'il représente, si ce n'est lorsqu'elles rentrent dans le système qu'il a adopté. Cette méthode permet de représenter la distance et la luminosité d'une manière bien plus exacte qu'on ne peut le faire par l'emploi exclusif du blanc et du noir. Des paysages de ce genre on arrive par degrés insensibles à d'autres, où les bruns énergiques des premiers plans disparaissent et sont remplacés par une série de teintes qui, sans être encore très positives, représentent cependant d'une manière un peu plus exacte les véritables couleurs du paysage. Le gris bleuâtre un peu monotone des derniers plans se transforme aussi en une plus grande variété de teintes bleuâtres pleines de fraîcheur, et de faibles nuances de violet et de pourpre commencent à se mêler aux autres couleurs. Les jaunes et les jaunes orangés deviennent plus prononcés, mais les verts bien francs ne sont encore admis qu'en petites touches et selon les exigences du sujet particulier

que l'on traite ; de même, on indique plutôt qu'on ne représente les grandes masses des autres couleurs intenses que présente le paysage. Les tableaux de ce genre laissent déjà aux différentes teintes une grande liberté d'effets et de transformations, et à première vue ils produisent la même impression que de véritables peintures. Un grand nombre des premières œuvres de Turner ont été faites d'après ces principes, qui permettent à celui qui veut devenir peintre de lutter contre les difficultés de la couleur et d'apprendre peu à peu à les surmonter. L'emploi des teintes plus pâles au lieu des couleurs véritables du paysage, et particulièrement l'exclusion du vert, cette couleur d'un maniement toujours si difficile, diminuent pour l'élève les chances de se perdre dans des combinaisons de couleurs dures ou mauvaises, et lui permettent d'obtenir plus facilement des effets harmonieux. Cet emploi des couleurs est évidemment conventionnel, et les tableaux de ce genre ne doivent pas être regardés comme des peintures dans le véritable sens de ce mot. Parmi les peintures véritables, les plus simples sont celles qui sont exécutées essentiellement avec deux couleurs modifiées et variées par l'addition de gris ; les couleurs très-éloignées de celles adoptées par le peintre n'y entrent qu'en petites quantités ou avec des tons très-adoucis. Ensuite viennent les peintures dans lesquelles trois couleurs, avec leurs nuances, sont employées systématiquement de la même façon, à l'exclusion de toutes les autres, autant que faire se peut. Le caractère de ces peintures variera nécessairement suivant que le peintre a supposé blanche ou colorée la lumière qui éclaire le paysage. Si cette lumière est jaunâtre, les teintes bleues et violettes seront plus ou moins supprimées, les verts deviendront plus jaunâtres, et les teintes rouges, orangées et jaunes seront plus intenses. Avec une lumière bleuâtre, c'est l'effet contraire qui se produira. Le procédé qui consiste à employer une lumière d'une certaine couleur dominante, qui s'étend sur tout le tableau et en modifie toutes les teintes, est fort en usage chez les peintres et a souvent servi à produire des effets très frappants.

La bonne couleur dépend en grande mesure de ce que nous pouvons appeler la composition chromatique du tableau. Le plan de cette composition doit être médité et fait d'avance avec soin, même pour les petits détails ; les couleurs seront choisies et disposées de manière à se prêter un secours mutuel, soit par accord soit par contraste, et de telle sorte qu'il soit impossible d'en modifier ou d'en supprimer une sans nuire sensiblement à l'effet général. Il n'y a point de

règles qui permettent au peintre de combiner à coup sûr des compositions chromatiques de ce genre ; l'étude constante des modèles que présentent la nature et les œuvres des grands coloristes est d'un grand secours ; mais ce qui est plus important encore, c'est que le peintre ait un sentiment naturel de ce que l'on peut appeler la poésie de la couleur, sentiment grâce auquel celui qui en est doué saisit pour ainsi dire instinctivement les harmonies de couleurs que lui offre la nature et les reproduit sur la toile, en y ajoutant ou en les modifiant d'après l'inspiration de son sentiment. Par exemple, il est souvent bon de rendre un peu plus foncées les couleurs de la nature, les gris pâles des lointains, ou les indications de couleurs que présentent souvent les chairs. En le faisant, on change un peu les proportions de lumière colorée et de lumière blanche qui existent dans la nature, et on force un peu l'élément de couleur. Dans d'autres cas, on pourra rendre toutes les couleurs plus pâles et plus grisâtres que celles de la nature ; mais si on laisse à toutes les mêmes rapports, et qu'on les modifie dans la même proportion, leur harmonie ne sera pas détruite, et le tableau restera toujours logique au point de vue de la couleur. Au contraire, si on laisse toute leur force aux teintes froides, aux verts et aux bleus, tout en affaiblissant les couleurs chaudes, le rouge, l'orangé et le jaune, l'effet produit sera détestable.

La bonne couleur dépend donc avant tout de la composition chromatique ; elle dépend encore, quoique à un moindre degré, du dessin, en comprenant dans ce terme les contours et la manière de rendre la lumière et les ombres. L'absence d'un dessin net, ferme et à peu près exact est une des causes qui perdent le plus souvent la couleur d'un tableau. La perfection du dessin ajoute énormément à la valeur des teintes d'un tableau, lorsque celles-ci sont délicates, ou quand l'ensemble contient des contrastes de couleurs douteux ou défavorables, ce qui arrive en réalité assez souvent dans la nature. En pareil cas, le peintre se voit forcé ou de renoncer au modèle que lui offre la nature, ou de le traiter comme le fait celle-ci, c'est-à-dire en rendant son dessin excellent et ses gradations infinies. Des combinaisons de couleurs mauvaises ou médiocres sont presque rendues bonnes par une dégradation suffisante. Lorsque toutes les teintes sont pâles, comme dans les derniers plans, il est presque impossible de les faire paraître lumineuses ou brillantes sans le secours d'un dessin exact et délicat. Le dessin exerce encore une autre influence sur la couleur : il permet d'employer des teintes parfaitement claires et pures là où les mêmes

couleurs légèrement sales feraient un effet déplorable. Cela vient de ce que le contraste favorable est accru par des teintes nettes et unies, tandis que le contraste défavorable est augmenté par des teintes sales ou tachées. C'est surtout vrai quand les couleurs ne sont pas très positives ou qu'elles occupent un degré peu élevé de l'échelle; si les teintes ne sont pas claires et décidées, elles perdent aussitôt toute valeur et font tache. Pour obtenir cet aspect si désirable que les peintres nomment pureté, il faut appliquer les couleurs rapidement et avec décision, et non les corriger ensuite peu à peu; mais ceci exige la main d'un très-bon dessinateur.

L'élève doit passer graduellement du dessin à la peinture; toute tentative sérieuse avec les couleurs doit lui être interdite tant qu'il n'est pas arrivé à une habileté incontestable à tracer les contours et à marquer les ombres et les clairs. Presque tous les amateurs abandonnent trop tôt le dessin pour la peinture, et ce fait seul leur enlève toute chance de progrès. Rien de plus facile cependant que de reconnaître s'ils sont arrivés au point voulu. Par exemple, si l'élève n'est pas en état d'exécuter une étude tout à fait satisfaisante d'un sujet quelconque esquissé et légèrement ombré, alors il est inutile de lui faire essayer de dessiner des objets en marquant complètement l'ombre et la lumière; s'il lui est impossible de bien dessiner les objets avec les clairs et les ombres, il est inutile qu'il essaye de se servir des couleurs. Nous venons d'indiquer comment Turner passait peu à peu du dessin à la couleur; nous ajouterons que cette méthode mérite d'être étudiée avec le plus grand soin. Avant de commencer à se servir des couleurs, il est bon de faire des dessins très-soignés du paysage choisi, avec les ombres et les clairs, en notant seulement par écrit et en s'efforçant de retenir les diverses couleurs qui y entrent. Ensuite, d'après ces notes et le dessin au crayon, on peut essayer une esquisse en couleur, *sans avoir* le modèle sous les yeux. Par ce procédé, on évite les incertitudes de jugement sur les couleurs et leurs rapports, et, quoique la peinture puisse être mauvaise, elle a au moins la chance d'être exécutée toute d'après le même plan, et il est facile d'en constater les fautes bien franches. Les commençants qui travaillent d'après nature ont généralement l'habitude de changer sans cesse le plan de leur composition chromatique, dans l'espoir de finir par tomber juste, et ils perdent ainsi beaucoup de temps. Les peintres au contraire, dans les mêmes circonstances, décident d'avance le plan qu'ils suivront, la manière

dont ils envisageront le problème, et travaillent ensuite sans dévier de la route choisie.

Quand l'élève aura fait quelques progrès, les esquisses en couleur qu'il fera d'après nature doivent être simples et exécutées au point de vue de la *couleur*, en mettant tout à fait en seconde ligne l'élément de forme. Il résistera au désir bien naturel de faire quelque chose qui puisse ensuite avoir l'air d'un tableau, et travaillera plutôt en vue d'un avenir lointain. Les commençants négligent toujours les grands rapports de lumière, d'ombre et de couleur, pour insister sur les petits; au contraire, l'artiste véritable vise à produire un grand effet général en employant quelques masses de couleur convenablement groupées et opposées les unes aux autres, la variété résultant moins de l'introduction de couleurs nouvelles que de la répétition des principaux motifs. On a proposé divers moyens de combattre ce défaut. Un des plus simples est de faire les esquisses en couleur si petites qu'il y ait à peine place pour autre chose que les principales masses de couleurs, et sans se servir de petits pinceaux. Un fait qui confirme notre manère de voir, c'est que si l'on coupe en deux ou trois morceaux un tableau fait par un commençant, les fragments ainsi obtenus sont meilleurs que l'original sous le rapport de la composition chromatique.

Il y a plusieurs autres pierres d'achoppement que rencontrent presque infailliblement ceux qui s'essayent pour la première fois à manier le pinceau. Une des plus marquantes est la tendance à se servir de couleurs bien plus intenses que celles de la nature. Les couleurs que nous offre celle-ci sont ordinairement pâles et peu intenses, même lorsqu'elles produisent l'impression contraire sur le spectateur, et il faut à l'élève un certain temps pour reconnnaître ce fait. Des champs éloignés, par exemple, paraissent souvent d'un vert assez intense, quand la couleur qui frappe réellement l'œil n'est peut-être guère plus qu'un gris légèrement teinté de vert, Il y a avantage à étudier les véritables couleurs des différentes parties d'un paysage en les isolant, comme le recommande M. Ruskin, au moyen d'une petite ouverture carrée d'à peu près 12 millimètres de côté, faite dans une carte blanche que l'observateur tient à environ 50 centimètres de son œil. Par ce procédé simple, l'élève peut reconnaître la nature véritable des teintes qui composent un paysage, car, lorsqu'on les isole ainsi, elles ne sont pas rehaussées par le contraste. Avec ces petits carrés de couleur, le jugement est moins influencé par le *souvenir*

des teintes que présentent les mêmes objets vus de près, c'est-à-dire par ce que les peintres appellent leur couleur locale. La couleur locale de l'herbe est verte ; mais, si elle est loin. elle peut offrir une grande variété de teintes pâles. qui seront même à peine verdâtres ; et pourtant l'influence de la mémoire fait que l'herbe éloignée nous semble présenter, non une variété de tons gris délicats. mais sa couleur locale, le vert. Cet exemple est bien connu, et ce n'est pas seulement au vert que le principe s'applique, mais bien à toutes les couleurs : toutes sont altérées par la distance, par l'éclat plus ou moins grand de la lumière ou par sa couleur. Les teintes de tous les objets sont aussi fort modifiées par les objets voisins, comme nous l'avons expliqué au chapitre du contraste ; et c'est là une autre source de perplexité et de confusion pour les commençants, qui sont sans cesse trompés par des apparences dues à cette cause. On comprendra jusqu'où peut aller cette difficulté, si l'on se souvient que le contraste modifie non seulement l'intensité de la couleur, mais même sa position sur le cercle chromatique, et aussi sa luminosité apparente, et qu'il a une vivacité toute particulière avec les couleurs pâles de la nature. Il est bon d'aborder franchement cette difficulté : au lieu de perdre son temps à essayer de deviner les énigmes de contraste que nous présente la nature. il vaut mieux renverser le procédé et faire de temps en temps à l'atelier des compositions chromatiques simples fondées sur les lois connues du contraste, de manière à en étudier les effets par l'expérience aussi bien que par l'observation.

L'apparence d'une couleur, comme nous l'avons expliqué plus haut, dépend aussi beaucoup de la dégradation : une couleur uniforme semble dure et désagréable, tandis que la même teinte, doucement dégradée, devient agréable et en même temps plus conforme à la nature. La dégradation des teintes est presque universelle dans la nature, et l'étude et la pratique de cette dégradation constituent une partie considérable de l'éducation des peintres. Un œil inexpérimenté en reconnaît les effets dans la nature et dans un tableau, mais sans se rendre compte des nuances délicates de couleur, de lumière et d'ombre dont elle dépend. Un peintre qui sait bien dégrader ses couleurs peut bien plus facilement manier de grandes masses d'une couleur presque uniforme, et dispose avec avantage de combinaisons de teintes qui sont en elles-mêmes d'une valeur douteuse.

Nous avons déjà signalé l'énorme influence d'un dessin franc et net ; mais nous y revenons encore un instant pour insister sur l'éclat que

prennent toutes les teintes d'un tableau dans lequel les effets de clair obscur sont bien ménagés. Un élève peut toujours se convaincre sans peine de la grande influence que les effets de clair obscur exercent sur la couleur, en reproduisant quelque gravure d'un grand maître sur un sujet simple avec les couleurs qui lui semblent les plus convenables, et en comparant ensuite le coloris ainsi obtenu avec celui de ses études d'après nature. Dans les deux cas, les couleurs ont été choisies par la même main, mais on reconnaît toujours que le clair obscur du maître a donné aux couleurs elles-mêmes une valeur qu'elles n'auraient pas eue sans ce petit plagiat de l'élève.

En peinture, le choix des sujets en vue de leurs qualités chromatiques est un élément de succès fort important. L'expérience seule peut apprendre peu à peu aux peintres à choisir de mieux en mieux leurs sujets, et les erreurs des commençants sur ce point sont souvent pour eux une cause de découragement. Les paysages qui contiennent beaucoup de vert sont toujours difficiles à traiter, et il faut autant que possible les éviter au début; des champs verts, des arbres verts, des montagnes vertes exigent tous une grande habileté pour que la couleur en soit bien rendue. Voilà pourquoi les anciens paysagistes ramenaient le ton de leurs arbres au vert olive terne et même au brun. Les combinaisons de vert, de bleu et de gris ou de blanc sont très fréquentes dans la nature, mais difficiles à manier, et exigent l'emploi de gradations infinies. Au point de vue de la couleur, cette combinaison est médiocre; mais, vue dans la nature, elle ne nous déplaît pas pour cela, bien au contraire. Et combien on peut faire avec des éléments d'une valeur si douteuse! D'un autre côté, les effets dont la beauté dépend d'une grande luminosité sont difficiles aussi, parce que leurs couleurs pâles, une fois mises sur la toile et privées de leur luminosité naturelle, paraissent souvent assez ternes. Il faut ranger encore dans la même catégorie les lointains avec leurs teintes si pâles et si délicates. Le coloris de la nature semble très brillant, mais en réalité cet effet est produit en partie par la luminosité et en partie par des nuances si peu différentes entre elles et si voisines du gris, que l'imitation exacte ou libre en est bien difficile.

Nous pourrions pousser plus loin cette énumération des difficultés de la peinture; mais, nous demandera-t-on peut-être, quels sujets sont réellement faciles? A dire vrai, tous sont difficiles, même si l'on se contente d'une perfection relative. Le peintre qui veut exceller dans le coloris consacre sa vie à l'art et accumule les études d'après nature

de tous les sujets possibles, les unes approfondies, les autres moins détaillées et comme de simples notes de couleur. Très souvent il arrive que certains beaux effets de couleur dans la nature ne durent que quelques minutes; le peintre les garde dans sa mémoire pour les jeter le lendemain sur le papier ou sur la toile, sans porter cette ébauche plus loin qu'il ne faut pour fixer les faits dans sa mémoire. Souvent il fait des esquisses expérimentales, non d'après nature, mais pour deviner en quelque sorte les éléments dont dépendent certains effets de couleur difficiles ou fugitifs, et aussi pour découvrir leurs rapports avec l'ombre et la lumière. Toutes ces études sur les couleurs seront accompagnées d'exercices constants au crayon pour les effets d'ombre et de lumière, et d'esquisses au trait pour l'étude de la forme, puisque l'imperfection du dessin est désastreuse pour la couleur. En même temps, le peintre étudiera avec ardeur les œuvres des bons coloristes, anciens et modernes; et après un travail persévérant et énergique de bien des années, s'il est bien doué, il deviendra coloriste.

NOTE SUR DEUX THÉORIES RÉCENTES DES COULEURS

M. Hering a proposé tout récemment une théorie des couleurs tout à fait différente de celle de Young. D'après cette théorie nouvelle, la rétine contient trois substances visuelles, et les sensations fondamentales sont au nombre, non de trois, mais de six :

Noir et blanc,
Rouge et vert,
Bleu et jaune.

Chacun de ces trois couples correspond à une action d'assimilation ou de désassimilation dans une des substances visuelles; par exemple, l'action de la lumière rouge sur la substance du rouge vert est exactement contraire à celle de la lumière verte, et, lorsque les deux espèces de lumière se trouvent réunies dans des proportions convenables, il y a équilibre, et les deux sensations, celle du rouge et celle du vert, disparaissent à la fois.

En outre, d'après cette théorie, toutes les couleurs du spectre agissent aussi sur la substance du blanc et du noir de la même manière que la lumière blanche; par exemple, la lumière rouge agit sur la substance rouge-vert et détermine la sensation du rouge, mais elle agit aussi sur la substance blanc-noir, et la sensation de rouge se trouve largement mélangée de la sensation de blanc. En conséquence,

d'après cette théorie, le blanc qui est produit par les mélanges de lumière rouge et de lumière verte devrait avoir moins d'intensité que la somme des éléments séparés ; mais nos expériences semblent indiquer qu'il n'en est pas ainsi [1]. Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur au mémoire de l'auteur, *Lehre vom Lichtsinne*, Vienne, 1878.

En 1876, M. F. Boll a découvert que la rétine contient une substance rouge ou pourpre que l'exposition à la lumière fait rapidement disparaître. MM. Boll et Kühne ont tous deux étudié l'action de la lumière d'une seule couleur sur cette substance colorée, et ont constaté que la lumière rouge commence par en rendre la couleur plus intense, et la fait ensuite disparaître lentement. L'action de la lumière jaune est lente ; la lumière verte, bleue ou violette agit plus rapidement. Sur ces observations M. Kühne a fondé une théorie de la vision. I suppose que les ondes lumineuses donnent naissance dans la rétine à des composés qui diffèrent avec la longueur des ondes, et déterminent ainsi les diverses sensations de couleur. S'il se produit ainsi trois composés qui donnent naissance aux sensations de rouge, de vert et de violet, alors cette nouvelle théorie est identique à celle de Young ; s'il y a cinq de ces composés, dounant les sensations de rouge, de jaune, de vert, de bleu et de violet, alors l'appareil du jaune et du bleu est double dans la rétine, puisqu'on peut démontrer que le mélange des sensations de rouge et de vert donne celle de jaune, et que le mélange du vert et du violet donne celle de bleu. Il y a aussi de bonnes raisons en faveur de l'opinion que le jaune et le bleu ne sont pas des sensations fondamentales, mais des mélanges (voir les observations de Bezold au chapitre XII). Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur aux mémoires publiés par M. Kühne dans les *Verhandlungen des Naturhistorische-medicinischen Vereins zu Heidelberg*, 1877-79.

1. *American Journal of Science and Arts*, octobre 1877.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

Coulommiers. — Imp. Paul BRODARD. — 214-95.

AVRIL 1895

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

Successeur de GERMER BAILLIÈRE et Cie

Paris. — 108, boulevard Saint-Germain. — Paris.

BIBLIOTHÈQUE
Scientifique Internationale

Publiée sous la direction de M. Émile ALGLAVE

Beaux volumes in-8, la plupart illustrés, cartonnés à l'anglaise, chaque volume. **6 fr.**

QUATRE-VINGT-UN VOLUMES PARUS

Derniers Volumes publiés :

Nos 77-78. **Les émules de Darwin**, par E. DE QUATREFAGES, de l'Institut. 2 vol. in-8° avec préfaces et notices sur les travaux de l'auteur, par MM. E. PERRIER et HAMY, de l'Institut. . . . . 12 fr.

N° 79. **Le centre de l'Afrique**, *autour du Tchad*, par P. BRUNACHE, administrateur colonial. 1 vol. in-8° avec 45 gravures et une carte . . . . . 6 fr.

N° 80. **Les aurores polaires**, par A. ANGOT, météorologiste titulaire au Bureau central météorologique. 1 vol. in-8° avec gravures. . . . . . 6 fr.

N° 81. **Le pétrole, l'asphalte et le bitume**, *au point de vue géologique*, par A. JACCARD, professeur à l'Académie de Neuchâtel (Suisse). 1 vol. in-8° avec 70 gravures. . . . . 6 fr.

Liste des Volumes par ordre de Matières

I. — SCIENCES SOCIALES

Introduction à la science sociale, par HERBERT SPENCER. 1 vol. in-8°, 11e éd. **6 fr.**

Cet ouvrage d'un homme qui est assurément un des plus grands penseurs de notre époque, est une introduction à la sociologie. C'est cette œuvre qui termine le vaste monument philosophique qu'il a entrepris pour synthétiser l'ensemble de la science philosophique fondée sur les idées modernes, en partant des *premiers principes* pour arriver à leurs applications dans les sciences de plus en plus complexes.

L'auteur démontre d'abord la nécessité de cette science et en étudie la nature. Il prémunit ensuite celui qui veut se livrer à cette étude, contre les difficultés qu'elle présente : difficultés objectives, difficultés subjectives, intellectuelles et émotionnelles. Ces dernières sont développées dans des chapitres intitulés : Préjugés de l'éducation, préjugés du patriotisme, préjugés de classes, préjugés politiques, préjugés théologiques.

Enfin il indique la discipline à observer dans la science sociale et montre comment les études biologiques et psychologiques en sont la préface nécessaire.

ENVOI FRANCO CONTRE MANDAT-POSTE OU VALEUR SUR PARIS

Les bases de la morale évolutionniste, par HERBERT SPENCER. 1 volume in-8° 5e édit. . . . . 6 fr.

Aujourd'hui que les prescriptions morales perdent une partie de l'autorité qu'elles devaient à leur origine surnaturelle, la sécularisation de la morale s'impose.

Le changement que promet ou menace de produire parmi nous cet état de choses, désiré ou craint, fait de rapides progrès : ceux qui croient possible et nécessaire de remplir le vide sont donc appelés à agir en conformité avec leur foi. C'est cette pensée qui a décidé le célèbre philosophe anglais à détacher de ses *Études sociologiques*, ce travail dans lequel il montre la base scientifique des principes du bien et du mal qui dirigent la conduite des hommes.

Les conflits de la science et de la religion, par DRAPER, professeur à l'Université de New-York. 1 vol. in-8°, 9e édit. . . . . 6 fr.

L'histoire de la science n'est pas seulement l'histoire de ses découvertes, c'est encore celle du conflit existant entre ces deux puissances contraires : d'une part, la force expansive de l'intelligence humaine; d'autre part, la compression exercée par la foi traditionnelle et par les intérêts humains. Personne, avant Draper, n'avait traité le sujet à ce point de vue où il apparaît comme un événement actuel on ne peut plus important. Aussi, cet ouvrage a-t-il eu un grand succès et est-il arrivé en peu d'années à sa 9e édition.

Lois scientifiques du développement des nations dans leurs rapports avec les principes de l'hérédité et de la sélection naturelle, par W. BAGEHOT. 1 vol. in-8°, 5e édit. . . . . 6 fr.

Livre I. L'origine des nations. — II. La lutte et le progrès. — III. La formation des peuples. — IV. L'âge de la discussion. — V. Le progrès vérifiable en politique.

L'évolution des mondes et des sociétés, par F.-C. DREYFUS. 1 vol. in-8°, 3e édit. . . . . 6 fr.

M. Dreyfus s'est spécialement proposé de descendre de la nature à l'histoire et d'essayer une synthèse générale des phénomènes naturels. Il a recueilli dans le champ des phénomènes scientifiques tous ceux qui lui paraissaient utiles pour donner une idée générale de l'origine des mondes, de leur formation et de leur fin, et montrer la terre à ses diverses époques, l'apparition de l'homme et la constitution des sociétés. Pour lui, la doctrine de l'évolution, que les progrès des sciences naturelles ont établie sur une base inébranlable, a renouvelé la conception générale de l'univers physique et social; elle a mis en lumière le trait d'union entre le présent et le passé, et, en joignant le point de vue dogmatique au point de vue historique, elle a démontré l'enchaînement des époques successives que l'on considérait jusqu'ici comme n'ayant entre elles aucun rapport immédiat. (*Revue bleue.*)

La sociologie, par DE ROBERTY. 1 vol. in-8°, 3e édit. . . . . 6 fr.

Ce volume n'est ni une œuvre de polémique ni un exposé dogmatique, c'est un essai de philosophie sociale où l'auteur a surtout cherché à définir la place, le caractère, la méthode et les tendances de la science toute nouvelle qui étudie les sociétés humaines avec les procédés précis des sciences naturelles. M. de Roberty se rattache à l'école positiviste d'Auguste Comte et de Littré, ce qui ne l'empêche pas de s'écarter, à l'occasion, des voies tracées par ses illustres maîtres et d'avouer une haute estime pour les doctrines de M. Herbert Spencer, même quand il les attaque un peu rudement.

La science de l'éducation, par Alex. BAIN, professeur à l'Université d'Aberdeen (Écosse). 1 vol. in-8°, 7e édit. . . . . 6 fr.

Dans une première partie, M. Bain examine la nature de l'éducation et ses rapports avec la physiologie, l'éducation de l'intelligence, des sens, de la mémoire et de l'imagination, la discipline. La seconde partie est consacré aux méthodes que l'auteur étudie dans toutes les sciences et dans les différentes branches de l'éducation littéraire. Enfin, dans une troisième partie, M. A. Bain trace le plan complet d'une *éducation moderne* en rapport avec les conditions particulières des sociétés contemporaines.

La vie du langage, par WHITNEY, professeur de philosophie comparée à Yale-Collège de Boston (États-Unis). 1 vol. in-8°, 4e édit. . . . . 6 fr.

Les linguistes ont longtemps différé d'opinions sur la question de savoir si l'étude du langage est une branche de la physique ou de l'histoire. Ce différend est à peu près réglé maintenant : toute matière dans laquelle les circonstances, les habitudes et les

actes des hommes constituent un élément prédominant, ne peut être que le sujet d'une science historique ou morale. C'est à ce point de vue que l'auteur s'est placé pour étudier la vie du langage.

La monnaie et le mécanisme de l'échange, par W. Stanley Jevons, professeur d'économie politique à l'Université de Londres. 1 vol. in-8°, 5e édit. 6 fr.

L'auteur décrit les différents systèmes de monnaies anciennes ou modernes du monde entier, les matières premières employées à faire de la monnaie, la réglementation du monnayage et de la circulation, les lois naturelles qui régissent cette circulation et les divers moyens appliqués ou proposés pour la remplacer par de la monnaie de papier. Il termine par un exposé du système des chèques et des compensations, maintenant si étendu et si perfectionné, et qui a tant contribué à diminuer l'usage des espèces métalliques.

La défense des États et les camps retranchés, par le général A. Brialmont, inspecteur général des fortifications et du corps du génie de Belgique. 1 vol. in-8° avec nombreuses figures dans le texte et 2 planches hors texte, (4e éd. *sous presse*).

Maintenant qu'en tous pays tout le monde est soldat, l'étude de la science militaire n'est plus le privilège des officiers de profession. Aussi le livre du général Brialmont sera-t-il lu avec intérêt par tous les hommes cultivés et soucieux de connaître les lois d'une des parties les plus importantes de l'art de la guerre : le rôle des places fortes et des camps retranchés pour la défense des frontières et leur importance pour assurer la sécurité des États contre les attaques de voisins trop agressifs. Le général Brialmont, inspecteur du génie belge, était mieux en situation que personne de traiter ce sujet, ayant eu à pourvoir à la défense de son pays, lequel n'a qu'à garantir sa neutralité, en cas de guerre entre les nations voisines.

II. — PHILOSOPHIE SCIENTIFIQUE

L'esprit et le corps, considérés au point de vue de leurs relations, suivi d'études sur les *Erreurs généralement répandues au sujet de l'esprit*, par Alex. Bain, professeur à l'Université d'Aberdeen (Écosse). 1 vol. in-8°, 5e édit. . . . . 6 fr.

Dans cet ouvrage, M. Alexandre Bain qui continue avec tant d'éclat les traditions de la philosophie écossaise, examine le grand problème de l'âme, surtout au point de vue de son action sur le corps. Il fait l'histoire de toutes les théories émises sur la nature de l'âme et sur la nature du lien qui peut l'unir au corps. Il étudie ensuite les sentiments, l'intelligence et la volonté, ce qui lui donne l'occasion d'exposer des vues fort originales, et il est conduit à indiquer une solution nouvelle du grand problème qu'il a abordé.

Les illusions des sens et de l'esprit, par James Sully. 1 vol. in-8°, 2e édit. 6 fr.

Cette étude embrasse le vaste domaine de l'erreur, non seulement de ces illusions des sens dont on traite dans les ouvrages d'optique physiologique et autres, mais encore des erreurs familièrement connues sous le nom d'illusions, et qui ressemblent aux premières par leur structure et leur origine. L'auteur s'est constamment tenu au point de vue strictement scientifique, c'est-à-dire à la description, à la classification des erreurs reconnues telles, qu'il explique en les rapportant à leurs conditions psychiques et physiques. C'est ainsi qu'après les illusions de la perception, il étudie celles des rêves, de l'introspection, de la pénétration, de la croyance, de l'amour-propre, de l'attente, de la mémoire, les erreurs de l'esthétique et de la poésie, etc.

Le magnétisme animal, par MM. A. Binet et Ch. Féré, médecin de Bicêtre. 1 vol. in-8°, 4e édit. . . . . 6 fr.

Bien des phénomènes surnaturels de l'antiquité et du moyen âge étaient dus au magnétisme animal. Mesmer, à la fin du siècle dernier, fut le premier qui donna une apparence scientifique à ses expériences, et cependant le défaut de méthode chez lui et chez beaucoup de ses continuateurs fit que le *magnétisme* ne put arriver à conquérir sa place dans la science.

Les expériences de l'école de la Salpêtrière lui ont donné cette place. La délimitation précise des trois états *léthargie*, *catalepsie*, *somnambulisme*, et l'étude des phénomènes qui les accompagnent ont ouvert la voie aux médecins et aux philosophes pour l'examen des faits psychologiques et pathologiques les plus curieux.

Aussi a-t-il semblé à la direction de la *Bibliothèque scientifique internationale* que le moment était venu de marquer l'état actuel de cette science; elle a confié la rédaction de ce livre à deux des élèves de M. le professeur Charcot, et de ses collaborateurs les plus assidus, qui ont pu expérimenter toutes les méthodes de magnétisme, reproduire toutes les expériences relatées par les magnétiseurs et les soumettre à une analyse critique et sévère.

Les Altérations de la Personnalité, par Alfred Binet, directeur du laboratoire de psychologie physiologique de la Sorbonne. 1 vol. in-8° avec fig. 6 fr.

Cet ouvrage ne peut manquer de piquer la curiosité du public par les faits étonnants qu'il révèle et dont il donne l'explication scientifique. M. Binet montre que le fameux *moi* indivisible de la vieille philosophie peut se dédoubler en plusieurs personnalités coexistantes ou successives parfaitement distinctes, en un mot qu'un même homme peut être à la fois plusieurs personnes. Ces faits extraordinaires, constatés scientifiquement, conduisent M. Binet à expliquer d'une manière naturelle des faits réputés miracles ou impostures, comme les phénomènes du spiritisme.

Le cerveau et ses fonctions, par J. Luys, membre de l'Académie de médecine, médecin de la Charité. 1 vol. in-8° avec 184 gravures, 7e édit. . . . 6 fr.

Ce livre est le résumé à la fois de l'expérience personnelle de l'auteur sur la matière, et de la plupart des idées qu'il a cherché à vulgariser dans son enseignement de la Salpêtrière.

Dans une première partie purement anatomique, M. Luys expose d'abord l'ensemble des procédés techniques par lesquels il a obtenu des coupes régulières du tissu cérébral, qu'il a photographiées avec des grossissements successivement gradués, procédés qui lui ont permis de pénétrer plus avant dans les régions encore inexplorées des centres nerveux.

La seconde partie est physiologique, elle comprend la mise en valeur des appareils cérébraux préalablement analysés, et donne l'exposé physiologique des diverses propriétés fondamentales des éléments nerveux considérés comme unités histologiques vivantes. Enfin l'auteur montre comment, grâce à la combinaison, à la participation incessante, à la totalisation des énergies de tous ces éléments, le cerveau sent, se souvient et réagit.

Le cerveau et la pensée chez l'homme et chez les animaux, par Charlton Bastian, professeur à l'Université de Londres. 2 vol. in-8° avec 184 gravures dans le texte, 2e édit. . . . . 12 fr.

M. Charlton Bastian est un des membres les plus éminents et les plus hardis de la nouvelle école philosophique qui veut ramener la psychologie aux procédés de la méthode expérimentale, et considère la science de la pensée comme la partie la plus élevée de la physiologie. Il examine successivement les différentes classes d'animaux, avant d'arriver au cerveau de l'homme, et montre la gradation de toutes les fonctions intellectuelles, au fur et à mesure qu'on monte dans l'échelle animale. Les chapitres consacrés aux singes supérieurs et à l'homme sont très curieux; dans l'intelligence humaine, l'auteur a fait une grande place à l'examen de toutes les déviations intellectuelles, et cite un grand nombre d'observations qui ne sont pas des moindres attraits du livre.

Théorie scientifique de la sensibilité : *le Plaisir et la Peine*, par Léon Dumont. 1 vol. in-8°, 4e édit. . . . . 6 fr.

Introduction : Relativité de la philosophie et des sciences. La métaphysique et la physique. Physique subjective ou psychologie. Difficultés particulières de la sensibilité.

Première partie. *Chapitre Ier :* Définitions du sentiment, de l'affection, de la sensibilité, de l'émotion, de l'esthétique. — *Chapitre II :* Examen critique des théories épicuriennes, de Wolff, cartésienne, platonicienne et positiviste. — *Chapitre III :* Caractère essentiel de la peine et du plaisir. — *Chapitre IV :* Relativité de la douleur et du plaisir. — *Chapitre V :* Caractère métaphysique de la sensibilité. — *Chapitre VI :* Unité des émotions. — *Chapitre VII :* L'inconscience ou anesthésie.

Deuxième partie. — *Chapitre Ier :* Classification des émotions. — *Chapitre II :* Peines positives : effort, fatigue, laid, dégoûtant, hideux, immoral, faux. — *Chapitre III :* Peines négatives : malaise de la faiblesse, douleurs des lésions, ennui, embarras, doute, impatience, attente, chagrin, tristesse, pitié, crainte. — *Chapitre IV :* Plaisirs négatifs, repos, gaieté, etc. — *Chapitre V :* Plaisirs positifs : occupations, méditations, jeux, farniente, passe-temps. Plaisirs du goût : l'esprit, le sublime et l'admiration, le beau (beauté plastique, pittoresque, grâce des mouvements, mélodie et harmonie, rhétorique et poétique, beauté morale), le visible. Plaisir du cœur : joie, espérance. — *Chapitre*

VI : L'expression des émotions chez l'homme et les animaux, la théorie de Darwin, les habitudes utiles, la force nerveuse. — *Chapitre VII :* La contagion des émotions. — *Chapitre VIII :* Influence des émotions sur la volonté, l'amour du plaisir. — *Chapitre IX :* Production volontaire de cause de plaisir. L'art.

Le crime et la folie, par H. Maudsley, professeur à l'Université de Londres. 1 vol. in-8°, 6e édit. . . . . 6 fr.

Introduction : *Chapitre Ier.* Les fous dans les asiles, méthode à suivre dans l'étude de la folie. — *Chapitre II :* La zone mitoyenne; il n'y a pas de ligne de démarcation nette entre la sanité et l'insanité. — *Chapitre III :* Des différentes formes de l'aliénation mentale. — *Chapitre IV :* La loi et la folie. — *Chapitre V :* De la folie partielle : 1° Folie affective. (*a*) Folie impulsive, (*b*) folie morale. — *Chapitre VI :* De la folie partielle : 2° folie partielle intellectuelle ou folie des idées. — *Chapitre VII :* De la folie épileptique. — *Chapitre VIII :* De la démence sénile. — *Chapitre IX :* Des moyens de se préserver de la folie.

III. — PHYSIOLOGIE

Les virus, par le Dr Arloing, membre correspondant de l'Institut, directeur de l'École vétérinaire et professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 1 vol. in-8° avec 47 grav. dans le texte. . . . . 6 fr.

La théorie des microbes est en train de renouveler la médecine tout entière en même temps que la physiologie, sous l'impulsion donnée par M. Pasteur et M. Chauveau. M. Arloing étudie l'organisme dans la lutte avec les microbes, éléments actifs des virus; il montre le malade succombant ou résistant et acquérant alors d'ordinaire une immunité spéciale contre le retour du mal qui l'a touché une première fois. Il étudie ensuite les différents moyens de produire chez l'homme cette immunité contre les terribles maladies qui sont le fléau de notre espèce, depuis la variole jusqu'à la rage et à la phtisie. Il termine par une critique des travaux de Koch sur la fameuse lymphe préservatrice de la tuberculose, qui a tant passionné le monde.

Les sensations internes, par H. Beaunis, professeur de physiologie à la Faculté de médecine de Nancy, directeur du laboratoire de psychologie physiologique à l'École des hautes études (Sorbonne). 1 vol. in-8°. . . . . 6 fr.

Sous ce nom, l'auteur comprend toutes les sensations qui arrivent à la conscience par une autre voie que les cinq sens spéciaux. Il est ainsi amené à examiner les manifestations suivantes : *la sensibilité organique*, c'est-à-dire la sensibilité des tissus et organes, à l'exclusion des organes des sens; *les besoins* (besoins d'activité musculaire ou psychique, des fonctions digestives, de sommeil, de repos, etc.); *les sensations fonctionnelles* (respiratoires, circulatoires, etc.), *le sentiment de l'existence*, *les sensations émotionnelles*, les sensations de nature indéterminée, comme le sens de l'orientation, de la pensée, de la durée, *la douleur* et *le plaisir*.

Physiologie des exercices du corps, par le docteur Fernand Lagrange. 1 vol. in-8°, 6e édit. . . . . 6 fr.

M. Lagrange a écrit sous ce titre un livre tout à fait original dont on ne saurait trop recommander la lecture. Il examine avec de très grands détails le travail musculaire, la fatigue, la cause de l'essoufflement, de la courbature, le surmenage, l'accoutumance au travail, l'entraînement, les différents exercices et leurs influences, les exercices qui déforment et ne déforment pas le corps, le rôle du cerveau dans l'exercice, l'automatisme. Certains chapitres sur les dépôts uratiques, sur le rôle du travail musculaire dans la production des sédiments, sont très fouillés. M. Lagrange a observé par lui-même, et l'on voit qu'il s'est rendu maître d'un sujet peu exploré et difficile. Tous les faibles, les débilités par l'air et la vie des grandes villes, ont intérêt à méditer cet excellent traité de physiologie spéciale. (*Les Débats.*)

Les sens, par Bernstein, professeur à l'Université de Hall. 1 vol. in-8° avec 91 fig. dans le texte, 5e édit. . . . . 6 fr.

Cet ouvrage expose une des parties de la physiologie qui ont le privilège d'intéresser le plus vivement tout le monde, et, en même temps, une de celles qui ont fait les progrès les plus importants dans ces dernières années.

Il est divisé en quatre livres : le premier est consacré au sens du toucher sous ses différentes formes; le second, consacré au sens de la vue, contient une étude détaillée de la constitution et du fonctionnement de l'œil et de toutes les maladies qu'il peut subir; le troisième traite du sens de l'ouïe et le quatrième termine l'ouvrage par l'étude de l'odorat et du goût.

Les organes de la parole et leur emploi pour la formation des sons du langage, par H. de Meyer, professeur à l'Université de Zurich; traduit de l'allemand et précédé d'une introduction sur l'*Enseignement de la parole aux sourds-muets*, par M. O. Claveau, inspecteur général des établissements de bienfaisance. 1 vol. in-8° avec 51 gravures dans le texte. . . . . 6 fr.

L'étude de la structure et des dispositions des organes de la parole s'impose aux philosophes avec un caractère de nécessité qui devient de jour en jour plus marqué; chaque jour, en effet, on voit s'affermir cette conviction qu'une intelligence exacte des lois relatives à la modification des éléments du langage ne peut s'acquérir sans le secours des lois physiologiques de la production des sons.

La physionomie et l'expression des sentiments, par P. Mantegazza professeur au Muséum d'histoire naturelle de Florence. 1 vol. in-8° avec gravures et 8 planches hors texte, 2e édit. . . . . 6 fr.

Ce livre est une page de psychologie, une étude sur le visage et sur la mimique humaine. L'auteur s'est donné pour tâche de séparer nettement les observations positives de toutes les divinations hardies qui ont jusqu'ici encombré la voie de ces études.

Scientifique dans le fonds, l'ouvrage de M. Mantegazza est cependant d'une lecture agréable; le psychologue et l'artiste y trouveront beaucoup de faits nouveaux et des interprétations ingénieuses d'observations que chacun pourra vérifier.

Les nerfs et les muscles, par J. Rosenthal, professeur de physiologie à l'Université d'Erlangen (Bavière). 1 vol. in-8° avec 75 fig. 3e édit. (*épuisé*).

Cet essai d'exposition de la physiologie générale des muscles et des nerfs, considérés seulement dans leur action réciproque, est une idée nouvelle; il intéresse non seulement le physiologiste, mais encore le physicien, le psychologue et tous les hommes instruits.

Les questions traitées sont comprises dans trois grandes divisions : 1° *Propriétés générales des muscles et des nerfs*, le mouvement chez les êtres vivants, constitutions des muscles, contraction musculaire, source de la force musculaire, constitution du système musculaire, les nerfs et l'irritabilité nerveuse; 2° *Electricité des muscles et des nerfs*, l'électricité animale et son étude, théorie de l'électricité animale; 3° *Organisation du système nerveux*, théorie de l'action motrice, les cellules nerveuses, les sensations.

La machine animale, par E.-J. Marey, membre de l'Institut, professeur au Collège de France. 1 vol. in-8° avec 117 fig. dans le texte, 5e édit. augmentée. 6 fr.

Bien souvent, et à toutes les époques, on a comparé les êtres vivants aux machines; mais c'est de nos jours que l'on peut comprendre la portée et la justesse de cette comparaison. Le savant professeur du Collège de France, grâce à ses ingénieux appareils, a pu faire enregistrer automatiquement, par l'homme ou par les animaux, tous les actes de leurs mouvements. La *locomotion terrestre* et la *locomotion aérienne* ont été l'objet de ses principales recherches.

L'adaptation des organes du mouvement chez les animaux à leurs diverses conditions d'existence, les allures chez l'homme et chez le cheval, l'analyse du mécanisme du vol des insectes et des oiseaux, l'appareil reproduisant les mouvements des ailes : tels sont les principaux sujets traités dans ce livre.

Il n'est pas besoin d'insister sur les applications utiles de ces recherches scientifiques, lesquelles ont d'ailleurs valu à leur auteur le grand prix de physiologie de dix mille francs, fondé par M. Lacaze.

La locomotion chez les animaux (marche, natation et vol), suivi d'une étude sur l'*Histoire de la navigation aérienne*, par J.-B. Pettigrew, professeur au Collège royal de chirurgie d'Edimbourg (Ecosse). 1 vol. in-8° avec 140 fig. dans le texte, 2e édit. . . . . 6 fr.

Livre I. Les organes de la locomotion. — Livre II. La progression sur la terre. — Livre III. La progression sur ou dans l'eau. — Livre IV. La progression dans l'air. — Livre V. L'aéronautique.

Une partie de cet ouvrage est consacrée aux questions traitées dans la *Machine animale*, par M. Marey, avec lequel l'auteur est en désaccord sur un certain nombre de

points. Il se place d'ailleurs à un point de vue différent. Il étudie la locomotion dans et par l'eau, dont M. Marey ne s'est pas occupé, et donne de curieux détails sur la natation de l'homme.

Mais ce qu'il faut signaler tout particulièrement, c'est son histoire de toutes les machines et de tous les systèmes essayés pour arriver à naviguer dans l'air, depuis les montgolfières jusqu'aux machines actuelles.

La chaleur animale, par Ch. RICHET, professeur de la Faculté de médecine de Paris. 1 vol. in-8° avec de nombreux graphiques dans le texte. . . . . . 6 fr.

TABLE DES MATIÈRES. — Lavoisier et la chaleur animale. — La température des mammifères et des oiseaux. — La température des animaux à sang froid. — La température normale de l'homme. — La température du corps dans les maladies. — La température après la mort. — Les muscles et la production de chaleur. — Les poisons et la température. — La calorimétrie et la production de la chaleur. — Le système nerveux et la chaleur animale. — La régularisation de la chaleur par la respiration. — La respiration et la température. — Conclusions.

IV. — ANTHROPOLOGIE

L'espèce humaine, par A. DE QUATREFAGES, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1 vol. in-8°, 11e édit. . . . . 6 fr.

« Ce livre m'a beaucoup intéressé, et il intéressera tous ceux qui le liront. Il expose avec une pleine compétence les faits et les questions. On peut n'être pas toujours de son avis, mais il fournit des éléments de discussion sur lesquels il est légitime de compter. Les diverses races humaines sont bien étudiées : l'homme fossile, cette découverte des temps modernes, n'est pas oublié. Des détails très instructifs sont donnés sur les influences du milieu et de la race, sur les acclimatations, sur les croisements et sur les curieux phénomènes de l'hybridité. Le livre est dogmatique en ce sens qu'il part de la thèse de la monogénie humaine et qu'il est destiné complètement à l'établir. Je ne suis pas monogéniste ; mais je ne suis pas non plus polygéniste, du moins de la façon dont M. de Quatrefages est monogéniste... » (E. LITTRÉ, *Philosophie positive.*)

Darwin et ses Précurseurs français, par A. DE QUATREFAGES. 1 vol. 2e édit. 6 fr.

Les Émules de Darwin, par A. de QUATREFAGES, procédé de notices sur la vie et les travaux de l'auteur, par MM. E. PERRIER et HAMY de l'Institut. 2 vol. 12 fr.

Les idées évolutionnistes qui, depuis un tiers de siècle, ont renouvelé toutes les sciences et même la philosophie, ont reçu évidemment de Darwin leur impulsion décisive. Mais ce n'est pas à dire que le grand naturaliste anglais ait tout inventé d'emblée. M. de Quatrefages montre dans ces ouvrages que Darwin a eu des précurseurs et des émules de premier rang, en France même. Il analyse et critique les théories de Darwin à côté de celles de ses précurseurs, Lamarck, Et. Geoffroy Saint-Hilaire, Buffon et quelques autres comme Telliamed, Robinet, Bory de Saint-Vincent. Parmi les savants qu'il cite comme émules de Darwin, nous rappellerons Wallace, Naudin, Romanes, Carl Vogt, Haeckel, Huxley, d'Omalius, d'Halloy, etc.

La France préhistorique, par E. CARTAILHAC. 1 vol. in-8° avec 150 gravures dans le texte, 2e édit. . . . . 6 fr.

En même temps que « l'esquisse des premières pages d'une histoire de France », qui remonterait jusqu'à l'apparition de l'homme sur la terre, on trouvera dans ce volume l'un des meilleurs et des plus savants résumés qu'il y ait de l'état présent de nos connaissances en matières d'archéologie préhistorique. Mais ce qui distingue surtout le livre de M. Cartailhac de tant d'autres livres sur le même sujet, c'en est le caractère uniquement et rigoureusement scientifique. Ni les conjonctures n'y sont données pour des vérités, ni les hypothèses pour des certitudes; au contraire, M. Cartailhac s'y fait un point d'honneur de distinguer soigneusement le certain d'avec le probable, et le probable d'avec le douteux. Rien de moins ordinaire aux anthropologistes, dont l'intrépidité d'affirmation n'a d'égale au monde que celle des métaphysiciens. Et c'est ce qui suffirait à recommander *la France préhistorique*, si d'ailleurs le nom de M. Cartailhac n'était assez connu pour ses heureuses découvertes, ses nombreux travaux, et sa rare compétence. (*Revue des Deux Mondes.*)

L'homme préhistorique, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays d'Europe, suivi d'une *Etude sur les mœurs et coutumes des sauvages modernes*, par sir JOHN LUBBOCK, membre de la Société royale de Londres. 3e édit. revue et augmentée avec 228 grav. dans le texte. 12 fr.

Rappeler les grandes divisions de l'ouvrage montrera suffisamment son importance,

tant au point de vue scientifique qu'au point de vue historique. Les principaux chapitres traitent des questions suivantes : *De l'emploi du bronze dans l'antiquité, de l'âge du bronze, de l'emploi de la pierre dans l'antiquité, monuments mégalithiques, tumuli, les anciennes habitations lacustres de la Suisse, les amas de coquilles du Danemark, les graviers des rivières; de l'ancienneté de l'homme.*

L'homme avant les métaux, par N. Joly, correspondant de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Toulouse. 1 vol. in-8° avec 150 gravures dans le texte et un frontispice, 4e édit. . . . . 6 fr.

Première partie. — *L'antiquité du genre humain.* — I. Les âges préhistoriques. — II. Les travaux de Boucher de Perthes. — III. Les cavernes à ossements. — IV. Les tourbières et les kjœkkenmœddinger. — V. Les habitations lacustres et les Nuraghie. — VI. Les sépultures et les dolmens. — VII. L'homme préhistorique américain. — VIII. L'homme tertiaire. — IX. Haute antiquité de l'homme.

Deuxième partie. — *La civilisation primitive.* — I. La vie domestique (le feu, les aliments, les vêtements, les bijoux). — II. L'industrie, les armes et les outils. — III. L'agriculture et les animaux domestiques. — IV. La navigation et le commerce. — V. Les beaux-arts. — VI. Le langage et l'écriture. — VII. La religion, l'anthropophagie et les sacrifices humains. — VIII. Portrait de l'homme quaternaire.

La famille primitive, ses origines et son développement, par C. N. Starcke, professeur à l'Université de Copenhague. 1 vol. in-8°. . . . . 6 fr.

Cet ouvrage traite une des questions capitales de la sociologie : la *Famille primitive* et ses transformations diverses qui ont abouti au régime actuel de la famille. Dans une première partie, l'auteur examine l'organisation de la famille, de la propriété et de l'héritage chez tous les peuples primitifs ou anciens. Dans la seconde partie, il fait la théorie de la famille primitive, de son origine et de son évolution. Il étudie successivement la filiation, la polyandrie et la polygamie, le matriarcat et le patriarcat, le lévirat et le niyoga, l'hérédité et le droit d'aînesse, les formes différentes de famille dans les principales races, etc. L'origine et le régime du mariage attirent principalement son attention; il développe soigneusement le système de l'exogamie et l'évolution du mariage. Il termine enfin par la théorie du clan, de la tribu et de la famille qui a provoqué, comme celle du mariage, bien des controverses. Ce livre est donc comme un résumé des principales questions sociales.

L'Homme dans la Nature, par P. Topinard. 1 vol. in-8°, avec 101 figures. 6 fr.

L'ouvrage de M. Topinard, élève, collaborateur et continuateur de Broca, se divise en deux parties distinctes. Dans la première, il expose les résultats de ses recherches personnelles sur l'anthropologie, les questions que soulève cette science, les résultats positifs qu'elle a obtenus et aussi les déceptions qu'elle a rencontrées. M. Topinard a fait preuve d'indépendance d'esprit en ne dissimulant pas les points faibles d'une œuvre dont il a été l'un des artisans avec son maître Broca. Dans la seconde partie de son ouvrage, M. Topinard reprend le cadre tracé par Huxley et par Broca il y a un quart de siècle. Notamment il expose et discute, à la lumière des derniers progrès de la science, toutes les données du grand problème de l'origine de l'homme. Malgré l'abîme profond qui sépare aujourd'hui le genre humain du reste des animaux, M. Topinard montre avec détails que l'homme est le produit d'une longue évolution commencée dans les classes inférieures des vertébrés et dont il suit toutes les phases jusqu'à l'ordre des Primates où l'Espèce humaine forme un rameau distinct.

Les Races et les Langues, par André Lefèvre, professeur à l'Ecole d'Anthropologie de Paris. 1 vol. in-8°. 6 fr.

L'auteur ne sépare pas le langage de l'organisme qui l'a produit, des êtres qui l'ont façonné à leur usage. Le langage, contre-coup sonore de la sensation, a débuté par le cri animal, cri d'émotion, cri d'appel. Varié par l'onomatopée, enrichi par la métaphore, il a évolué dans la mesure même du développement cérébral et des aptitudes intellectuelles. Tous les groupes ethniques passés en revue par l'auteur : Chinois, Ouralo-Altaïques, Dravidiens, Malais, Polynésiens, Africains, Basques, Américains, Egypto-Berbères, Sémites, Aryas, qui sont parvenus ou se sont arrêtés aux divers stades du cycle linguistique, tous ont su mettre la parole en exacte correspondance avec leurs facultés et leurs besoins. Une grande partie de l'ouvrage est, comme de juste, consacrée à la puissante famille indo-européenne dont les nombreux idiomes ont refoulé, pour ainsi dire, et rejeté en marge de la civilisation des langues moins souples et moins bien ordonnées. Dans ses études sur le *nom*, le *verbe*, la *préposition*, sur les relations entre les *continues* (voyelles et semi-voyelles) et les *explosives* (consonnes), M. André Lefèvre a proposé des vues nouvelles et originales. Toujours il s'est inspiré de ces lignes qui terminent l'ouvrage : « Tout ensemble facteur et expression de

nos progrès, créateur de la conscience et de la science, le langage relie la zoologie à l'histoire, l'anthropologie physiologique à l'anthropologie morale. »

Les peuples de l'Afrique, par R. Hartmann, professeur à l'Université de Berlin. 1 vol. in-8° avec 93 gravures dans le texte et une carte des peuples de l'Afrique, 2e édit. . . . . 6 fr.

Ce livre est un recueil d'études historiques, ethnographiques, physico-anthropologiques et de linguistique; mais en même temps on y trouve l'attrait du récit de l'homme qui a vécu dans ces pays mystérieux, au milieu de ces populations primitives, et qui en a rapporté des impressions personnelles. De nombreuses et belles gravures accompagnent le texte et représentent des types de tous les peuples décrits dans ce travail, ainsi que leurs habitations, leurs armes et outils, et tous les objets servant aux divers usages de la vie.

Les singes anthropoïdes, et leur organisation comparée à celle de l'homme, par R. Hartmann, professeur à l'Université de Berlin. 1 vol in-8° avec 63 gravures dans le texte. . . . . 6 fr.

L'auteur déduit de son étude la confirmation de la proposition de Huxley qu'il y a plus de différence entre les singes les plus inférieurs et les singes les plus élevés, qu'il n'y en a entre ceux-ci et les hommes. Toutefois si, au point de vue corporel, il constate une parenté très proche entre l'homme et le singe anthropoïde, il résulte également de ses observations qu'au point de vue psychique l'abîme entre les deux est très considérable.

Le centre de l'Afrique, *autour du Tchad*, par P. Brunache, administrateur colonial. 1 vol. in-8° avec 45 gravures dans le texte et une carte. . . . 6 fr.

M. P. Brunache, administrateur colonial, a été le second de MM. Dybowski et Maistre dans leurs missions célèbres de 1892 et de 1894; en cette qualité, il a été l'un de leurs collaborateurs les plus actifs et souvent il a dû lui-même user d'initiative dans des circonstances difficiles. Il raconte ses impressions de voyage et constate les résultats acquis dans les explorations auxquelles il a pris part; il expose en même temps ses idées sur l'influence que la France peut et doit exercer dans les régions si disputées de l'Afrique centrale. Des dessins, pris sur place par l'auteur, donnent à son travail un cachet particulier, et constituent des documents authentiques qui intéresseront tous ceux, et ils sont nombreux, qui suivent avec ardeur le progrès de notre développement en Afrique.

V. — ZOOLOGIE

L'intelligence des animaux, par G.-J. Romanes, secrétaire de la Société Linnéenne de Londres pour la zoologie, précédée d'une préface sur l'*Evolution mentale*, par Edm. Perrier, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle de Paris. 2 vol. in-8°, 2e édit. . . . . 6 fr.

Cet ouvrage a été composé, presque sous les yeux de Darwin, par un des hommes qui se sont le plus scrupuleusement imprégnés de sa méthode : Georges-J. Romanes; il étudie les manifestations de l'instinct ou de la raison chez les différentes espèces, depuis les plus inférieures jusqu'aux grands mammifères, et il rapporte avec un luxe de détails vraiment remarquable, quantité de curieuses observations.

Cet ouvrage est présenté au public français par M. Edmond Perrier, professeur au Muséum d'histoire naturelle, qui, dans une importante préface, passe en revue les phases successives par lesquelles ont passé les idées des naturalistes et des philosophes relativement aux facultés psychiques des animaux, fait ressortir ce que les idées actuelles ont de définitif, et précise la part bien large qu'elles laissent encore à l'inconnu.

La philosophie zoologique avant Darwin, par Edmond Perrier, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle de Paris. 1 vol. in-8°, 2e édit. . . . . 6 fr

Le savant professeur du Jardin des plantes a traité une des parties les plus intéressantes des sciences naturelles : l'Histoire des doctrines des grands zoologistes depuis Aristote et les savants du moyen âge, Buffon, Lamarck, Geoffroy-Saint-Hilaire, Cuvier Goethe, Okan et les philosophes de la nature, jusqu'aux hommes les plus marquant.

de l'époque contemporaine. L'auteur y a abordé chacun des grands problèmes que cherchent à résoudre en ce moment les sciences naturelles et a fait de ce livre un véritable résumé de la zoologie actuelle.

Descendance et Darwinisme, par O. Schmidt, professeur à l'Université de Strasbourg. 1 vol. in-8° avec figures, 6e édit. . . . . 6 fr.

Principaux chapitres. — État actuel du monde animal. — Les phénomènes de la reproduction. — Développement historico-paléontologique du monde animal. — Création ou développement naturel. — La philosophie naturelle. — Lyell et la géologie moderne. — Théorie de la sélection de Darwin. — La distribution géographique des animaux éclairée par la théorie de la descendance. — L'arbre-souche des vertébrés. — L'homme.

Les mammifères dans leurs rapports avec leurs ancêtres géologiques, par O. Schmidt, professeur à l'Université de Strasbourg. 1 vol. in-8° avec 51 figures dans le texte. . . . . 6 fr.

Quels ont été nos ancêtres et ceux des mammifères actuels? Il n'y a pas de question scientifique qui puisse intéresser davantage le public tout entier ni prêter à des découvertes plus piquantes. C'est le sujet du livre du grand zoologiste allemand, Oscar Schmidt. Le principe même des doctrines darwiniennes n'est plus contesté aujourd'hui. Il faut maintenant développer leurs conséquences et tracer la généalogie des êtres vivants actuels au travers des temps géologiques. C'est ce que fait M. O. Schmidt pour toutes les catégories de mammifères, depuis les moins élevés jusqu'aux grands singes anthropoïdes et jusqu'à l'homme lui-même. Il termine en décrivant à grands traits l'homme de l'avenir.

L'écrevisse, *Introduction à l'étude de la zoologie*, par Th.-H. Huxley, membre de la Société royale de Londres et de l'Institut de France, professeur d'histoire naturelle à l'École royale des mines de Londres. 1 vol in-8° avec 82 fig. 6 fr.

L'auteur n'a pas voulu simplement écrire une monographie de l'Écrevisse, mais montrer comment l'étude attentive de l'un des animaux les plus communs peut conduire aux généralisations les plus larges, aux problèmes les plus difficiles de la zoologie, et même de la science biologique en général. Avec ce livre, le lecteur se trouve amené à envisager face à face toutes les grandes questions zoologiques qui excitent aujourd'hui un si vif intérêt.

Les commensaux et les parasites dans le règne animal, par P.-J. van Beneden, professeur à l'Université de Louvain (Belgique). 1 vol. in-8° avec 82 fig. dans le texte, 3e édit. . . . . 6 fr.

Cette étude de différents animaux, faite à un point de vue spécial, est remplie de détails intéressants sur leurs mœurs et leurs habitudes, et de rapprochements ingénieux. Dans une première partie, l'auteur étudie les *Commensaux*, qu'il divise en commensaux libres et commensaux fixes; dans une deuxième partie, les *Mutualistes*, c'est-à-dire ceux qui vivent ensemble en se rendant de mutuels services.

Dans la troisième partie, sont traités les *Parasites*, ainsi divisés : parasites libres à tout âge, dans le jeune âge, pendant la vieillesse; parasites à transmigrations et à métamorphoses; parasites à toutes les époques de la vie.

Une table alphabétique contenant le nom de 450 animaux environ, cités dans le cours de l'ouvrage, le termine utilement pour les recherches.

Fourmis, abeilles et guêpes, *Études expérimentales sur l'organisation et les mœurs des sociétés d'insectes hyménoptères*, par sir John Lubbock, membre de la Société royale de Londres. 2 vol in-8° avec gravures dans le texte et 13 planches hors texte, dont 5 coloriées. . . . . 12 fr.

Le grand naturaliste anglais, sir J. Lubbock, a publié sous ce titre le récit des curieuses expériences qu'il poursuit depuis quinze ans concurremment avec ses travaux préhistoriques.

On y trouvera notamment les détails les plus surprenants sur l'organisation du travail, les expéditions militaires, l'esclavage, le langage, les affections et les divers sentiments sociaux des fourmis qui ont été le principal objet de ses recherches.

Les sens et l'instinct chez les animaux et principalement chez les insectes, par Sir John Lubbock. 1 vol. in-8° avec 136 grav. dans le texte. . . . . 6 fr.

Ce livre est le complément du précédent; M. Lubbock étudie successivement les cinq

sens chez les animaux et les instincts dont le développement se rattache à ces sens. La principale originalité de ce livre, ce sont les nombreuses expériences imaginées par l'auteur, avec une ingéniosité et une patience sans égales, pour mettre en lumière l'intelligence et les instincts moraux ou sociaux des bêtes de tout ordre. C'est ce qui rend la lecture de ce livre aussi attachante pour les gens du monde que pour les savants.

VI. — BOTANIQUE — GÉOLOGIE

Introduction à l'étude de la botanique (*Le sapin*), par J. de Lanessan, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. 1 vol. in-8° avec gravures dans le texte, 2e édit. . . . . 6 fr.

Ce livre est une introduction générale à l'étude de la botanique. M. de Lanessan l'a écrit surtout pour les hommes instruits qui aiment à connaître les grands principes et les traits généraux des sciences qu'ils n'ont pas le temps d'approfondir, mais il rendra aussi service à ceux qui débutent dans l'étude de la botanique, en leur montrant que cette science ne se compose pas seulement de détails arides et fastidieux. En prenant comme sujet l'étude du *Sapin*, l'auteur n'a pas voulu faire une monographie de cet arbre; il s'est proposé seulement de développer par un exemple spécial les théories les plus importantes de la Botanique.

L'origine des plantes cultivées, par A. de Candolle, correspondant de l'Institut. 1 vol. in-8°, 3e édit. . . . . 6 fr.

La question de l'origine des plantes intéresse les agriculteurs, les botanistes et même les historiens ou les philosophes qui s'occupent des commencements de la civilisation.

Le but de l'auteur, digne héritier d'un nom réputé en botanique, a été de chercher l'état et l'habitation de chaque espèce avant sa mise en culture. Il a dû, pour cela, distinguer parmi les innombrables variétés, celle qu'on peut estimer la plus ancienne, et voir de quelle région du globe elle est sortie. Il montre, en outre, comment la culture des diverses espèces s'est répandue dans différentes directions, à des époques successives.

Cet ouvrage peut être considéré comme une application des plus curieuses de la théorie de l'évolution; on y reconnaît l'adaptation des plantes aux milieux de leur développement, et même l'extension de certaines espèces, de telle façon que l'histoire des plantes cultivées se rattache d'une manière évidente aux questions les plus importantes de l'histoire générale des êtres organisés.

Les champignons, par Cooke et Berkeley. 1 vol. in-8° avec 110 grav. 4e édit. 6 fr.

Table des chapitres. — I. Nature zoologique des champignons. — II. Structure. — III. Classification. — IV. Usages. — V. Phénomènes remarquables produits par les champignons. — VI. Les spores et leur dissémination. — VII. Germination et développement. — VIII. Reproduction sexuelle. — IX. Polymorphisme. — X. Influence et effets. — XI. Habitat. — XII. Culture. — XIII. Distribution géographique. — XIV. Récolte et conservation.

L'évolution du règne végétal, par G. de Saporta, correspondant de l'Institut, et Marion, professeur à la Faculté des sciences de Marseille.

I. *Les Cryptogames*. 1 vol. in-8° avec 85 gravures dans le texte............ 6 fr.
II. *Les Phanérogames*. 2 vol. in-8° avec 136 gravures dans le texte......... 12 fr.

Depuis vingt ans que la théorie de Darwin a bouleversé toutes les théories scientifiques, bien des livres ont été consacrés à sa défense. Mais c'est la première fois qu'on trace dans son cadre un tableau d'ensemble du monde végétal. MM. de Saporta et Marion montrent comment la flore actuelle tout entière s'est constituée peu à peu par la transformation d'un type primitif. C'est la généalogie du règne végétal. Cet ouvrage est orné d'un grand nombre de gravures dessinées d'après nature.

Les régions invisibles du globe et des espaces célestes, par A. Daubrée, membre de l'Institut. 1 vol. in-8° avec gravures. 2e édit. . . . . 6 f.

Livre écrit pour le grand public, dans lequel l'éminent professeur du Muséum fait l'étude des eaux souterraines, de la formation des roches sédimentaires ou cristallisées, des tremblements de terre, des météorites ou pierres tombées du ciel, etc. Les sources,

les eaux minérales, les cours d'eau souterrains, le rôle minéralisateur de l'eau aux époques géologiques constituent autant de chapitres d'un vif intérêt. Les tremblements de terre et les météorites conduisent M. Daubrée à l'examen de la constitution du globe. En un mot, c'est bien, comme l'indique le titre, une excursion dans les régions de l'invisible. (*Les Débats.*)

Les volcans et les tremblements de terre, par Fuchs, professeur à l'Université de Heidelberg. 1 vol. in-8° avec 30 gravures et une carte en couleurs, 6e édit. . . . . 6 fr.

Les *tremblements de terre* sont, pour certaines régions, une perpétuelle et terrifiante menace, aussi tout ce qui se rattache à ces convulsions terrestres a-t-il au plus haut point le privilège de susciter l'émotion et de passionner la curiosité. L'ouvrage de M. Fuchs offre à ce point de vue un intérêt des plus émouvants.

On trouvera ensuite dans ce livre un historique détaillé des tremblements de terre connus, des études sur les tremblements de mer, les volcans boueux et les geysers, une description pétrographique des laves, enfin il se termine par une description géographique des volcans, comprenant une énumération complète et tenant compte de toutes les découvertes et de tous les événements récents.

La période glaciaire, principalement en France et en Suisse, par A. Falsan. 1 vol. in-8° avec 105 gravures dans le texte et 2 cartes hors texte. . . . 6 fr.

Table des matières. — Transport du terrain erratique. — La théorie glaciaire. — Classification des terrains et des alluvions. — Caractères physiques et puissance du terrain glaciaire ancien. — Érosion glaciaire, moraines profondes, superficielles. — Stries, roches moutonnées, etc. — Creusement des lacs. — Persistance ou conservation par la glace des lacs orographiques et des fjords. — Creusement des lacs par l'érosion glaciaire. — Affouillements et réexcavation des lacs. — Progression des lacs. — Progression des anciens glaciers. — Causes de leur extension. — Climat, flore et faune de la période glaciaire. — L'homme pendant la période glaciaire. — Description des terrains glaciaires.

Le pétrole, le bitume et l'asphalte, par A. Jaccard, professeur de géologie à l'Académie de Neuchâtel. 1 vol. in-8° avec 70 fig. dans le texte. . . 6 fr.

Le pétrole tient une place de plus en plus grande dans la vie moderne. Mais son origine et son mode de formation sont encore très discutés. M. Jaccard, l'éminent professeur de géologie de l'Académie de Neuchâtel, a consacré la plus grande partie de sa vie à l'étude de cette question, aussi importante au point de vue scientifique qu'au point de vue industriel. C'est le résultat de ses longs travaux qu'il expose dans ce volume. Il y fait l'histoire critique de toutes les théories scientifiques relatives au pétrole, décrit son mode de formation, expose la découverte successive de ses gisements dans les deux mondes. Il fait ensuite l'histoire du bitume et de l'asphalte, les congénères du pétrole. Enfin il cherche à déterminer l'avenir industriel du pétrole. De nombreuses figures placées dans le texte permettent notamment de suivre les descriptions des gisements géologiques qui ont fait la fortune de certaines régions.

VII. — PHYSIQUE

Les glaciers et les transformations de l'eau, par J. Tyndall, professeur de chimie à l'Institution royale de Londres, suivi d'une étude sur le même sujet, par Helmholtz, professeur à l'Université de Berlin. 1 vol. in-8° avec nombreuses figures dans le texte et 8 planches tirées à part sur papier teinté. 6e édit. 6 fr.

Cet ouvrage contient la description des grands glaciers de la Suisse que M. J. Tyndall a visités et étudiés un grand nombre de fois. On y trouve exposées les théories auxquelles ont donné lieu l'origine et la nature des glaciers, la formation de la glace et du givre, la regélation découverte par Faraday, dont Tyndall défend les doctrines, tandis que Helmoltz soutient celles de MM. James et William Thomson.

La conservation de l'énergie, par Balfour Stewart, professeur de physique au collège Owen's de Manchester (Angleterre), suivi d'une étude sur la *Nature de la force*, par P. de Saint-Robert (de Turin). 1 vol. in-8° avec figures, 5e édit. 6 fr.

On peut considérer l'univers comme une immense machine physique; les connaissances que nous possédons sur cette machine se divisent en deux branches : l'une d'elles embrassant ce que nous savons sur la structure de la machine elle-même; l'autre ce que nous savons sur la méthode qu'elle emploie pour agir. L'auteur étudie à la fois ces deux branches. Dans un premier chapitre, il passe en revue tout ce que nous connaissons au sujet des atomes, et donne une définition de l'énergie. Puis il énumère les diverses forces et énergies de la nature; il établit les lois de leur conser-

vation, de leur transformation et de leur dissipation. Enfin, l'ouvrage se termine par une esquisse historique du sujet, et par l'étude de la place occupée par les êtres vivants dans cet univers de l'énergie.

La matière et la physique moderne, par STALLO, précédé d'une préface par Ch. FRIEDEL, de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris. 1 vol. in-8°, 2e édit. . . . . 6 fr.

M. Stallo est un savant américain qui est arrivé à la science par la philosophie. Dans ce livre, il critique, au point de vue purement expérimental, les principales théories de la science contemporaine, la théorie mécanique de la chaleur, la théorie atomique, etc., enfin les surprenantes doctrines des géomètres allemands et italiens sur l'espace à quatre dimensions. M. Friedel, l'éminent professeur de la Sorbonne, a placé en tête de ce livre une préface où il prend la défense de l'École atomique dont il est le chef incontesté en France depuis la mort de Wurtz.

VIII. — CHIMIE

La synthèse chimique, par M. BERTHELOT, membre de l'Institut, professeur de Chimie organique au Collège de France. 1 vol. in-8°, 7e édit. . . . . . 6 fr.

C'est en 1860 que M. Berthelot a exposé, pour la première fois, les méthodes et les résultats généraux de la synthèse chimique appliquée aux matériaux immédiats des êtres organisés et qu'il a fait connaître au monde savant les procédés qu'il avait découverts pour réaliser les combinaisons de carbone et d'hydrogène.

Il était bon que ces principes de la synthèse organique qui ont pris une place si importante dans le domaine de la chimie et qui, chaque jour, produisent des découvertes nouvelles, fussent mis à la portée du grand public.

La théorie atomique, par Ad. WURTZ, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences et à la Faculté de médecine de Paris. 1 vol in-8°, 6e édit., précédé d'une introduction sur la *Vie et les travaux* de l'auteur, par Ch. FRIEDEL, de l'Institut. . . . . 6 fr.

Dans cet ouvrage, le chef de l'École atomique française, Ad. Wurtz, résume l'ensemble des travaux et des théories qui ont rendu son nom célèbre dans toute l'Europe savante. Il expose le développement successif des théories chimiques depuis Dalton, Gay-Lussac, Berzélius et Proust, jusqu'à Dumas, Laurent et Gerhardt, Avogrado, Mendeleef et Wurtz, et termine par les études les plus curieuses et les plus nouvelles sur la constitution des corps et la nature de la matière.

Les fermentations, par P. SCHUTZENBERGER, membre de l'Académie de médecine, professeur de chimie au Collège de France. 1 vol. in-8° avec fig., 5e édit. 6 fr.

La question des *fermentations* est un des chapitres les plus intéressants de la chimie, et dont les applications industrielles, agricoles, hygiéniques et médicales sont les plus nombreuses. Il y a cependant peu de questions qui soient restées plus longtemps obscures que celles de l'origine des fermentations, et de l'action de ce que l'on appelle les ferments. Mais, dans ces dernières années, les travaux d'un grand nombre de savants, et notamment ceux de M. Pasteur, ont jeté la lumière sur cet important sujet, et ce sont tous les faits acquis aujourd'hui que M. Schutzenberger résume dans ce livre.

L'auteur a divisé son travail en deux parties : dans la première, il traite des fermentations attribuées à l'intervention d'un ferment organisé ou figuré, telles sont les fermentations alcoolique, visqueuse, lactique, ammoniacale, butyrique et par oxydation; la seconde partie est consacrée aux fermentations provoquées par des produits solubles, élaborés par les organismes vivants.

Microbes, ferments et moisissures, par le docteur L. TROUESSART. 1 vol in-8° avec nombreuses gravures dans le texte, 2e édit. . . . . 6 fr.

S'il est un sujet à l'ordre du jour, c'est bien celui des microbes, et, cependant, à part les livres savants de Duclaux, Sternberg, Klein, et l'important ouvrage de MM. Cornil et Babes, qui est le seul traité complet des microbes et de la bactériologie, il n'avait pas encore été traité à un point de vue pratique.

Cependant le rôle des microbes intéressant chacun de nous, il fallait un livre où l'avocat, forcé de traiter en face d'experts une question d'hygiène, l'ingénieur, l'architecte, l'industriel, l'agriculteur, l'administrateur, pussent trouver des notions claires

et précises sur les questions d'hygiène pratique se rattachant à l'étude des microbes, notions qu'ils trouveraient difficilement, dispersées qu'elles sont dans les livres destinés aux médecins ou aux botanistes de profession. Bien qu'il ne soit pas écrit spécialement pour ces derniers, ce livre peut cependant leur être d'une grande utilité.

Il a été donné une large place à la partie botanique, trop souvent négligée dans les ouvrages de pathologie microbienne.

La Révolution chimique. Lavoisier, par M. Berthelot. 1 vol. in-8° illustré. 6 fr.

Ce livre mérite d'attirer l'attention des gens du monde comme des philosophes et des savants. La date de 1789, qui est le point de départ de la société politique nouvelle, coïncide à peu près avec les grandes découvertes de Lavoisier qui sont la base de la science contemporaine de la physiologie comme de la chimie. A côté de la Révolution politique de 1789, il y a donc eu une révolution chimique personnifiée par Lavoisier, et qui sépare deux mondes scientifiques entièrement différents par leurs méthodes, leur esprit et leurs principes. C'est cette révolution que raconte M. Berthelot.

L'ouvrage se termine par des notices et extraits des registres inédits du laboratoire de Lavoisier qui offrent un intérêt particulier en mettant le lecteur en présence de la méthode de travail de l'illustre savant.

IX. — ASTRONOMIE — MÉCANIQUE

Les étoiles, *Notions d'astronomie sidérale*, par le P. A. Secchi, directeur de l'Observatoire du Collège romain. 2 vol. in-8° avec 68 gravures dans le texte et 16 planches en noir et en couleurs, 2e édit. . . . . 12 fr.

Cet ouvrage est une œuvre posthume, et comme le testament scientique du célèbre directeur de l'observatoire de Rome. Il est le résumé de ses derniers travaux ou, pour mieux dire, le résumé de l'état actuel de nos connaissances sur les étoiles.

Dans le premier volume, l'auteur, après avoir décrit l'aspect général du ciel, étudie toutes les questions qui se rattachent à la grandeur des étoiles, à la distance qui les sépare de nous, à leur couleur, à leurs changements d'éclat et de teinte. Un chapitre est consacré au soleil qui appartient à la classe des étoiles les plus intéressantes, les étoiles variables.

Le second volume comprend l'histoire des nébuleuses, l'étude et la détermination des mouvements propres des étoiles. L'auteur est ainsi conduit à traiter de l'immensité de l'espace stellaire, du nombre des étoiles, des distances qui les séparent de nous et de celles qui les séparent les unes des autres. Enfin, dans un dernier chapitre, le P. Secchi expose ses vues sur la constitution de l'univers, et c'est certainement un des plus intéressants de l'ouvrage, en raison de la grandeur de la conception de l'auteur.

Le soleil, par C.-A. Young, professeur d'astronomie au Collège de New-Jersey. 1 vol. in-8° avec 87 gravures. . . . . 6 fr.

De toutes les parties de l'astronomie, l'étude de la constitution physique du soleil est celle qui a fait le plus de progrès depuis vingt ans. On peut dire qu'elle a renouvelé les idées du monde savant sur la constitution physique de l'univers tout entier. Cette étude est l'objet principal du livre du célèbre astronome américain Young.

Cet ouvrage est illustré d'un grand nombre de figures et contient à côté des doctrines modernes un exposé très curieux de toutes les recherches et de toutes les théories sur le soleil.

Histoire de la machine à vapeur, de la locomotive, et des bateaux à vapeur, par R. Thurston, professeur de mécanique à l'Institut technique de Hoboken, près New-York, revue, annotée et augmentée d'une Introduction, par Hirsch, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur de machines à vapeur à l'Ecole des ponts et chaussées de Paris. 2 vol. in-8° avec 160 gravures dans le texte et 16 planches tirées à part, 2e édit. . . . . 12 fr.

On peut dire que l'industrie moderne tout entière dérive de la machine à vapeur, et cependant l'histoire de ce merveilleux engin n'avait pas encore été écrite d'une manière complète. M. Thurston, un des professeurs les plus éminents des Etats-Unis, a comblé cette lacune en donnant une *Histoire de la machine à vapeur*, revue et augmentée d'une préface par M. Hirsch, professeur de machines à vapeur à l'Ecole des ponts et chaussées. Cet ouvrage est orné de 16 planches, d'une foule de portraits d'inventeurs, et d'une immense quantité de figures représentant tous les types de machines à vapeur, de bateaux à vapeur ou de locomotives, depuis les premières tentatives de l'antiquité jusqu'aux perfectionnements les plus récents.

Les aurores polaires, par A. ANGOT, météorologiste titulaire au Bureau météorologique de France. 1 vol. in-8° avec gravures dans le texte. . . . . . 6 fr.

Les aurores boréales, que M. Angot appelle avec raison aurores polaires, puisqu'elles se produisent aussi bien au pôle sud qu'au pôle nord, et descendent même de temps à autre dans les latitudes tempérées, forment l'un des sujets les plus curieux des sciences physiques. Ces merveilleuses illuminations des nuits polaires, qui prennent souvent les formes les plus fantastiques, constituent certainement un des spectacles les plus grandioses de la nature. M. Angot les décrit, en fait l'histoire, en discute la théorie avec la clarté de style et l'élégance d'exposition qui lui ont donné une place éminente dans la littérature scientifique comme dans la science technique. Des gravures, exécutées avec le plus grand soin, représentent les plus belles aurores boréales observées.

X. — BEAUX-ARTS

Le son et la musique, par P. BLASERNA, professeur à l'Université de Rome, suivi des *Causes physiologiques de l'harmonie musicale*, par H. HELMHOLTZ, professeur à l'Université de Berlin. 1 vol. in-8° avec 41 gravures dans le texte, 5e édit. . . . . 6 fr.

Ce livre n'a pas la prétention de donner une description complète des phénomènes sonores, ni d'exposer toute l'histoire des lois musicales; l'auteur a cherché seulement à réunir deux sujets qui jusqu'alors avaient été traités séparément. En effet, le physicien ne se hasarde guère sur le terrain de la musique, et les artistes ne connaissent pas assez l'importance considérable des lois du son, dans un grand nombre de questions. Exposer brièvement les principes fondamentaux de l'acoustique et en montrer les plus importantes applications, tel est le but de cet ouvrage. Il se trouve présenter ainsi un grand intérêt pour ceux qui aiment à la fois l'art et la science.

Principes scientifiques des beaux-arts, par E. BRUCKE, professeur à l'Université de Vienne, suivi de *l'Optique et les Arts*, par H. HELMHOLTZ, professeur à l'Université de Berlin. 1 vol. in-8° avec gravures, 4e édit. . . . . 6 fr.

Dans ce volume sont réunies les recherches principales de deux savants, MM. Brucke et Helmholtz, et les matériaux qui y sont contenus montrent, par leur diversité et leur importance, que la peinture et la sculpture ne perdent rien à devenir savantes tout en demeurant artistiques. *La perspective*, *la distribution de la lumière et des ombres*, *la couleur avec les harmonies et ses contrastes*, sont autant de sujets scientifiques que les peintres ne sauraient se dispenser d'étudier. Les auteurs donnent également d'intelligents conseils sur le mode d'*éclairement des modèles* qui est déterminé par des lois rigoureuses et dont on ne s'écarte qu'au détriment de la vérité des effets; ils traitent également la question connexe de l'*éclairement des galeries de tableaux*.

Théorie scientifique des couleurs et leurs applications aux arts et à l'industrie, par O.-N. ROOD, professeur de physique à Colombia-College de New-York (États-Unis). 1 vol. in-8° avec 130 figures dans le texte et une planche en couleurs, 2e édit. . . . . 6 fr.

M. Rood est un éminent professeur de physique des États-Unis, et en même temps un peintre distingué. Son livre convient à la fois, grâce aux aptitudes variées de son auteur, aux artistes et aux gens du monde. On y trouve, sous une forme accessible, l'exposé des diverses théories sur les couleurs et sur leur perception dans l'œil humain, ainsi que les applications si variées et si curieuses que beaucoup de ces théories ont trouvées dans l'industrie. Enfin le rôle des couleurs dans la peinture, les moyens de les employer et l'étude des divers genres, forment une partie importante de l'ouvrage.

Les volumes suivants sont sous presse ou en préparation :

MEUNIER (STAN.). **La géologie comparée.** 1 vol. avec gravures.
ROCHÉ. **La culture des mers.** 1 vol. avec gravures.
DUMESNIL. **L'hygiène de la maison.** 1 vol. avec gravures.
GUIGNET. **Poteries, verres et émaux.** 1 vol. avec gravures.
KUNCKEL D'HERCULAIS. **Les sauterelles.** 1 vol. avec gravures.
CORNIL ET VIDAL. **La microbiologie.** 1 vol. avec gravures.
MORTILLET (DE). **L'origine de l'homme.** 1 vol. avec gravures.
PERRIER (E.). **L'embryologie générale.** 1 vol. avec gravures.

LISTE GÉNÉRALE PAR ORDRE D'APPARITION DES 81 VOLUMES

DE LA BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

1. Tyndall. Les Glaciers et les Transformations de l'eau, *illustré*. 5e éd.
2. Bagehot. Lois scientifiques du développement des nations. 5e éd.
3. Marey. La Machine animale, *illustré*. 5e éd.
4. Bain. L'Esprit et le Corps. 5e éd.
5. Pettigrew. La Locomotion chez les animaux, *illustré*. 2e éd.
6. Herbert Spencer. Introduction à la science sociale. 11e éd.
7. Schmidt. Descendance et Darwinisme, *illustré*. 6e éd.
8. Maudsley. Le Crime et la Folie. 6e éd.
9. Van Beneden. Les Commensaux et les Parasites du règne animal, *illustré*. 3e éd.
10. Balfour Stewart. La Conservation de l'énergie, *illustré*. 5e éd.
11. Draper. Les Conflits de la science et de la religion. 9e éd.
12. Léon Dumont. Théorie scientifique de la sensibilité. 4e éd.
13. Schutzenberger. Les Fermentations, *illustré*. 5e éd.
14. Whitney. La Vie du langage. 4e éd.
15. Cooke et Berkeley. Les Champignons, *illustré*. 4e éd.
16. Bernstein. Les Sens, *illustré*. 5e éd.
17. Berthelot. La Synthèse chimique. 7e éd.
18. Vogel. Photographie et Chimie de la lumière, *illustré*. 4e éd. (épuisé).
19. Luys. Le Cerveau et ses Fonctions, *illustré*. 7e éd.
20. Stanley Jevons. La Monnaie et le Mécanisme de l'échange. 5e éd.
21. Fuchs. Volcans et Tremblements de terre, *illustré*. 6e éd.
22. Brialmont (le général). La Défense des États et les Camps retranchés, *illustré*. 4e éd. (*sous pr.*).
23. De Quatrefages. L'Espèce humaine. 11e éd.
24. P. Blaserna et Helmholtz. Le Son et la Musique, *illustré*. 4e éd.
25. Rosenthal. Les Nerfs et les Muscles, *illustré*. 2e éd. (*épuisé*).
26. Brucke et Helmholtz. Principes scientifiques des Beaux-Arts, *illustré*. 4e éd.
27. Wurtz. La Théorie atomique. 6e éd.
28-29. Secchi (le Père). Les Étoiles, 2 vol. *illustrés*. 2e éd.
30. Joly. L'Homme avant les métaux, *illustré*. 4e éd.
31. A. Bain. La Science de l'éducation. 7e éd.
32-33. Thurston. Histoire de la machine à vapeur, 2 vol. *illustrés*. 2e éd.
34. Hartmann. Les Peuples de l'Afrique, *illustré*. 2e éd.
35. Herbert Spencer. Les Bases de la morale évolutionniste. 5e éd.
36. Huxley. L'Écrevisse (Introduction à la zoologie), *illustré*.
37. De Roberty. La Sociologie. 3e éd.
38. Rood. Théorie scientifique des couleurs, *illustré*, 2e éd.
39. De Saporta et Marion. L'Évolution du règne végétal (les Phanérogames), 2 vol. *illustrés*.
40-41. Charlton Bastian. Le Cerveau et la Pensée chez l'homme et les animaux, 2 vol. *illustrés*. 2e éd.
42. James Sully. Les Illusions des sens et de l'esprit, *illustré*. 2e éd.
43. Young. Le Soleil, *illustré*.
44. De Candolle. Origine des plantes cultivées. 3e éd.
45-46. Lubbock. Fourmis, Abeilles et Guêpes, 2 vol. *illustrés*.
47. Perrier. La Philosophie zoologique avant Darwin. 2e éd.
48. Stallo. La Matière et la Physique moderne. 2e éd.
49. Mantegazza. La Physionomie et l'Expression des sentiments, *illustré*. 2e éd.
50. De Meyer. Les Organes de la parole et leur emploi pour la formation des sons du langage, *illustré*.
51. De Lanessan. Le Sapin (Introduction à la botanique), 2e éd., *illustré*.
52-53. De Saporta et Marion. L'Évolution du règne végétal (les Cryptogames), *illustré*.
54. Trouessart. Les Microbes, les Ferments et les Moisissures, *illustré*. 2e éd.
55. Hartmann. Les Singes anthropoïdes et leur organisation comparée à celle de l'homme, *illustré*.
56. Schmidt. Les Mammifères dans leurs rapports avec leurs ancêtres géologiques, *illustré*.
57. Binet et Féré. Le Magnétisme animal, *illustré*. 4e éd.
58-59. Romanes. L'Intelligence des animaux, 2 vol. *illustrés*. 2e éd.
60. Dreyfus. L'Évolution des mondes et des sociétés. 3e éd.
61. Lagrange. Physiologie des exercices du corps. 6e éd.
62. Daubrée. Les Régions invisibles du globe et des espaces célestes, *illustré*. 2e éd.
63-64. Lubbock. L'Homme préhistorique, 2 vol *illustrés*. 3e éd.
65. Richet. La Chaleur animale, *illustré*.
66. Falsan. La Période glaciaire, *illustré*.
67. Beaunis. Les Sensations internes.
68. Cartailhac. La France préhistorique, *ill*. 2e éd
69. Berthelot. La Révolution chimique.
70. Lubbock. Sens et instincts des animaux, *illustré*
71. Starcke. La famille primitive.
72. Arloing. Les virus, *illustré*.
73. Topinard. L'Homme dans la nature, *illustré*.
74. Binet (Alf.). Les Altérations de la personnalité.
75. De Quatrefages. Darwin et ses précurseurs français, 2e éd.
76. André Lefèvre. Les races et les langues.
77-78. De Quatrefages. Les Émules de Darwin.
79. Brunache. Le Centre de l'Afrique, *illustré*.
80. Angot. Les Aurores polaires, *illustré*.
81. Jaccard. Le Pétrole, l'Asphalte et le Bitume, *ill*.

Prix de chaque volume, cartonné à l'anglaise. . . . . 6 fr.

ENVOI FRANCO CONTRE MANDAT-POSTE OU VALEUR SUR PARIS.

Coulommiers. — Imp. Paul BRODARD. — 135-95.

25/60

